

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Měření těsnosti průmyslových výrobků pomocí
průtokového snímače**

**Measurement of Industrial Products Leakage Using
a Flow Sensor**

Student:

Bc. Petr Padalík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Padalík

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

Měření těsnosti průmyslových výrobků pomocí průtokového snímače

Measurement of Industrial Products Leakage Using a Flow Sensor

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Zkoušky netěsností.
3. Metody testování.
4. Podmínky pro akreditaci laboratoře.
5. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MIKAN, J. *Měření plynu*. 1. vyd. Říčany u Prahy: GAS, 2003. 351 s. ISBN 80-7328-053-1.
- [2] PETŘKOVSKÁ, L.; ČEPOVÁ, L. *Strojírenská metrologie* Ostrava. VŠB - TU Ostrava, 2011. Dostupné na <http://www.346.vsb.cz/Petrkovska,%20Cepova%20-%20strojirenska%20metrologie.pdf>.
- [3] Beater, P. *Pneumatic drives : system design, modelling and control*. Springer. Berlin, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
- [4] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.

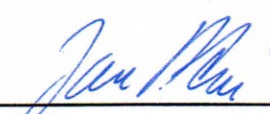
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Petřková, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013





Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 6. 5. 2013

.....


Bc. Petr Padalík

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen “VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek jejich obhajoby.

6. 5. 2013

V Ostravě



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Petr Padalík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Šardice 825, 696 13 Šardice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PADALÍK, P. Měření těsnosti průmyslových výrobků pomocí průtokového snímače: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 63 s. Vedoucí práce: Petřkovská, L.

Diplomová práce se zabývá problematikou měření těsnosti průmyslových výrobků (především v automobilovém průmyslu) pomocí průtokového snímače. Cílem této práce je akreditace kalibrační laboratoře za účelem provádění akreditovaných kalibrací přístrojů na měření těsnosti. Práce seznamuje čtenáře s jednotlivými metodami měření těsnosti, konkrétním postupem při měření těchto přístrojů za účelem akreditace a všemi podmínkami pro udělení této akreditace.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

PADALÍK, P. Measurement of Industrial Products Leakage Using a Flow Sensor: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2013, 63 p. Thesis head: Petřkovská, L.

Master thesis deals with the measurement of leak industrial products (especially in the automotive industry) using a flow sensor. The aim of this work is the accreditation of a calibration laboratory to carry out calibration of measuring instruments leak. This paper introduces the readers to the various methods of measuring leak, a specific procedure for the measurement of these instruments for the purpose of a accreditation and all the conditions for granting the accreditation.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	7
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	10
2 ZKOUŠKY NETĚSNOSTI	12
2.1 Automatické přístroje pro kontrolu těsnosti vzduchem	12
2.2 Specifikace testu úniku	14
2.3 Různé typy měření úniků pomocí vzduchu	16
2.3.1 Měření tlaku	16
2.3.2 Měření průtoku	23
2.4 Obecné vlivy na výsledky měření	25
3 METODY TESTOVÁNÍ	29
3.1 Kalibrace měřicích přístrojů a měřicích systémů	29
3.1.1 Současné trendy – Multifunkční kalibrátory	30
3.1.2 Automatizace kalibrací	31
3.2 Kalibrace průtokoměrů	31
3.2.1 Obecné podmínky kalibrace	32
3.2.2 Postup kalibrace	32
3.2.3 Vyhodnocení výsledků a měření	35
3.3 Výpočet nejistoty měření	38
3.3.1 Schopnost kalibrace a měření – CMC	40
3.3.2 Nejlepší schopnost měření – BMC	41
4 AKREDITACE LABORATOŘE	43
4.1 Národní metrologický systém	43
4.2 Zákon o metrologii	45
4.2.1 Rozdělení měřidel podle zákona o metrologii	46
4.2.2 Vybrané orgány ČR činné v oblasti metrologie	47
4.3 Rozsah působnosti ČIA	47
4.4 Základní požadavky na kalibrační laboratoře	49
4.5 Možnosti deklarování kvality laboratoří	50
4.5.1 Princip vzájemného uznávání výsledků NMI	51
4.5.2 Akreditace kalibrační laboratoře	51
4.5.3 Autorizace metrologických subjektů	52

4.5.4	Proces harmonizace	52
4.6	Dvoustranné porovnání s ČMI	53
4.7	Proces akreditace kalibrační laboratoře	53
5	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ	57
	Seznam použité literatury	59
	Seznam příloh	61

Seznam použitých značek a symbolů

BIPM	Mezinárodní úřad pro váhy a míry (Bureau International des Poids et Mesures)	
BMC	nejlepší schopnost měření	
CEN	Evropská komise pro normalizaci (European comitte for standardization)	
CIPM	Mezinárodní výbor pro váhy a míry (Comité International des Poids et Mesures)	
CMC	schopnost kalibrace a měření	
ČSN	Česká státní norma	
EN	Evropská norma	
ECM	schválený a vyhlášený etalon ČR	
ECR	etalon ČMI, referenční pro ČR	
EPR	referenční etalon uchovaný pověřenou laboratoří	
ES	Evropské společenství	
ETR	etalon ČMI	
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise (International Electrotechnical commission)	
ILAC	Mezinárodní spolupráce pro akreditaci laboratoří (International Laboratory Accreditation Co-operation)	
ISO	Mezinárodní normalizační organizace (International Standard Organisation)	
MRA	Úmluva o vzájemném uznávání (Mutual Recognition Arrangement)	
NMI	Národní metrologický institut	
OIML	Mezinárodní organizace pro legální metrologii (Organization Internationale de Métrologie Légale)	
SI	Světové míry a váhy – soustava jednotek (System of unit)	
FS	měřicí rozpětí kalibrovaného průtokoměru (horní mez rozsahu)	$[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
$i = 1, m$	počet sérií měření	
$j = 1, n$	počet hodnot průtoku nastavených v rozsahu kalibrace	

k	koeficient rozšíření	
konst.	konstanta	
KL	Kalibrační list	
Nl	normolitra (objem za daných podmínek)	[Nl]
O	index pro označení odlehčovací části série měření	
p	tlak	[bar]
p ₁	tlak ve vzorku na začátku měření	[bar]
p ₂	tlak ve vzorku na konci měření	[bar]
p _{at}	atmosférický tlak	[bar]
p _T	testovací tlak	[bar]
Q	hodnota průtoku odečtená na kalibrovaném průtokoměru	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _E	hodnota průtoku nastavená etalonem průtoku	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _{ejk}	korigovaná hodnota průtoku	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _j	j-tá hodnota průtoku odečtená na kalibr. průtokoměru	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _{je}	j-tá hodnota průtoku nastavená etalonem průtoku	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _{KL}	hodnota průtoku dle kalibračního listu	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _{Oj}	j-tá hodnota průtoku v i-té sérii měření při odlehčování	[cm ³ ·min ⁻¹]
Q _{Zji}	j-tá hodnota průtoku v i-té sérii měření při zatěžování	[cm ³ ·min ⁻¹]
$\bar{Q}_{Zj}, \bar{Q}_{Oj}$	j-tá střední hodnota průtoku při zatěžování, odlehčování	[cm ³ ·min ⁻¹]
RP	Reject Point – max. přípustná hodnota nastavená na testovacím přístroji.	[bar]
r _e , r _x	digit – chyba způsobená počtem nejméně významných míst (nejmenší rozlišitelný dílek)	
stand.	standardní stav (0 °C a 1013 mbar)	
T	teplota	[°C]
t	čas	[s]
t _m	doba měření	[s]
U	rozšířená kombinovaná standardní nejistota	
u _A	nejistota stanovená způsobem A	
u _B	nejistota stanovená způsobem B	
u _{BE1}	nejistota etalonu údajů v kalibračním listu	
u _{BE2}	nejistota vlivem teplotních podmínek prostředí na nastavení nuly	
u _{BE3}	nejistota vlivem teplotních podmínek prostředí na rozsah	

u_{BER}	nejistota vlivem rozlišení etalonu průtokoměru	
u_{BH}	nejistota z maximálních rozdílů při měření	
u_{BXR}	nejistota vlivem rozlišení kalibrovaného průtokoměru	
u_{QE}	standardní kombinovaná nejistota Q_E	
u_{C}	kombinovaná standardní nejistota	
V	objem	$[\text{cm}^3]$
V_L	uniknutý objem	$[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
V_{perm1}	objem povoleného úniku	$[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
V_t	objem testovaného vzorku	$[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
Z	index pro označení zatěžovací části série měření	
$\delta_{\uparrow\downarrow\text{max}}$	max. rozdíly průtoků při měření ve všech zkušebních průtocích jak při zatěžování, tak i při odlehčování	$[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
δ_j	relativní chyba pro j-tou hodnotu průtoku	
δ_{KL}	relativní chyba dle kalibračního listu	

1 Úvod do problematiky

Obor detekce netěsností se začal velmi rychle rozvíjet po druhé světové válce. Zejména s vývojem elektronického průmyslu a zvýšením aktivity v oblasti kosmického výzkumu byl stimulován vývoj nových zařízení a procesů vyžadujících kontrolované prostředí bez významných úniků. Analýza úniku plynů byla známa od roku 1920, ale až od druhé světové války byla tato koncepce přijata jako prostředek k lokalizaci netěsnosti. Od té doby se stala díky postupným technickým inovacím velmi užitečnou metodou pro kontrolu kvality široké škály systémů a produktů. [7]

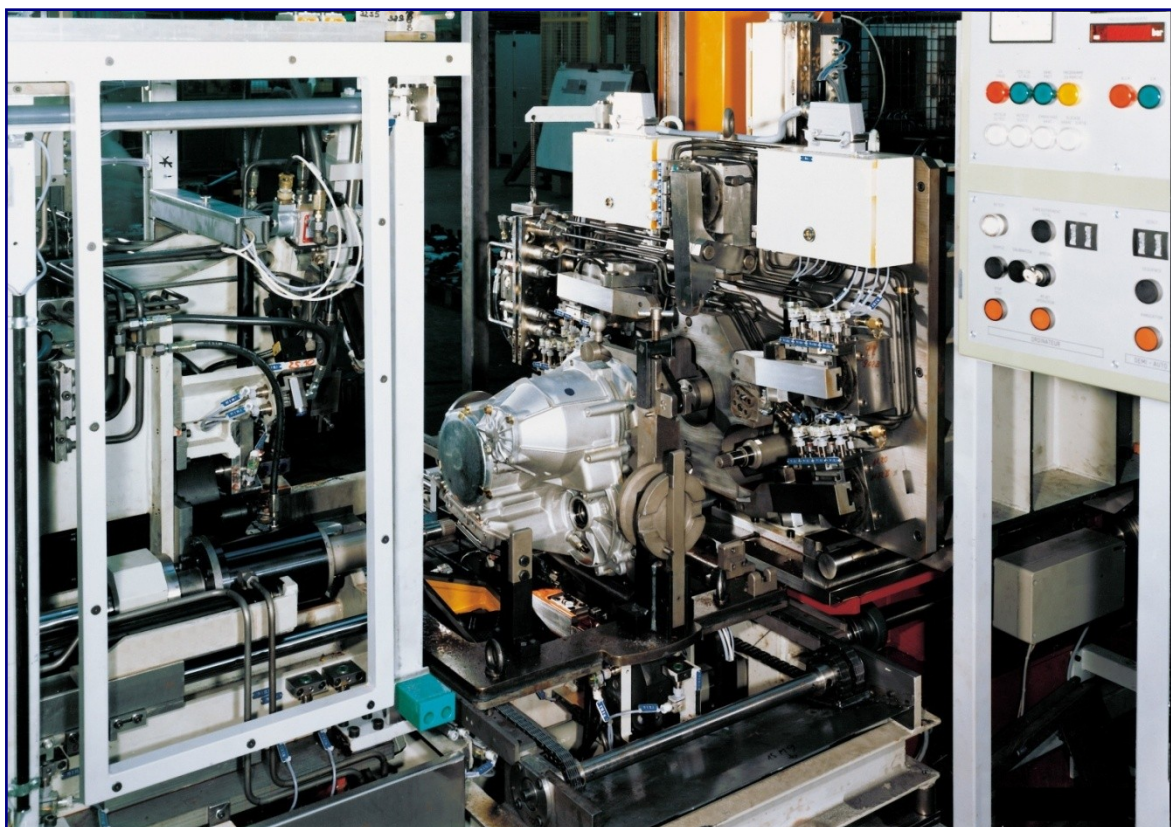
Tato diplomová práce popisuje postup akreditace kalibrační laboratoře TM Technik, s.r.o. se sídlem v Brně, pro měření těsnosti průmyslových výrobků pomocí průtokového snímače. Společnost TM Technik, s.r.o. je společnost zabývající se prodejem, servisem a kalibračními službami v oblasti metrologie. Společnost má zastoupení prodeje měřidel společnosti JW Froehlich. a provádí kalibrace měřidel této značky pro měření těsnosti ve firmě Škoda Auto, a.s. a ve firmě ITW Pronovia, s.r.o. Velká Bíteš. Ve firmě Škoda Auto, a.s. se přístroje pro měření těsnosti používají hlavně k měření těsnosti spalovacích motorů (převodovky, vodní, olejové a spalovací prostory motorů) a ve firmě ITW Pronovia, s.r.o., se měří např. těsnost komponentů, ze kterých se skládají klimatizační jednotky. Obě firmy používají techniku pro měření od společnosti JW Froehlich z Německa.

Společnost JW Froehlich se sídlem ve Stuttgartu je vedoucí výrobce automatických linek pro testování spalovacích motorů při jejich výrobě a také přístrojů pro testování netěsnosti stlačeným vzduchem, které jsou obvykle součástí linky. Od roku 1965, kdy byla založena, dodává tyto linky a přístroje prakticky všem světovým automobilkám. Testovací přístroje pro zkoušky netěsnosti jsou vyráběny v několika variantách, které umožňují měřit únik různými metodami podle specifikace testu, ať je to měření poklesu tlaku, rozdílu tlaků nebo měření průtoku. Firma JW Froehlich má svá zastoupení po celém světě, výrobní závody pak v Německu, USA a Číně.

Do současné doby kalibrační laboratoř TM Technik prováděla kalibrace bez akreditace. Na základě požadavků společností Škoda Auto, a.s., ITW Pronovia, s.r.o., ale i jiných, se rozhodla společnost TM Technik s.r.o., získat akreditaci pro měření a kalibraci těchto měřidel.



Obr. 1 - Linka JWF pro testování převodovek Hyundai [1]



*Obr. 2 - Testování automatických převodovek CVT
(bezstupňová samočinná převodovka) [1]*

2 Zkoušky netěsnosti

Těsnost je relativní pojem. Absolutně těsná součástka neexistuje. Požadavky na těsnost vždy vycházejí z podmínek dané aplikace, a proto je nutné určit testovací metodu, tlak a maximální dovolenou výši úniku. Již v tomto bodě mohou nastat první pochybnosti. Otázkou je velikost dovoleného úniku. Ale součástka by měla být těsná! Například součástky ve vnitřní části motoru musí být těsné proti vodě a olejům, ostatní součástky nesmí propouštět palivo nebo plyny. V tomto případě test těsnosti musí právě v nejdříve možný okamžik výrobního procesu poskytnout informaci, která součástka je potenciálně netěsná nebo která nesplňuje podmínky dalšího provozu. Lze se tak vyhnout dalšímu zbytečnému zpracování součástky (montáž, strojní zpracování), je to tzv. „redukce odpadu.“

2.1 Automatické přístroje pro kontrolu těsnosti vzduchem

V automatickém zařízení pro kontrolu těsnosti se jako testovací médium používá vzduch nebo speciální plyn, a to i v případě, že součástka musí být těsná proti kapalinám. Nižší viskozita testovacího plynného média, v porovnání s pracovní kapalinou, umožňuje dosáhnout vyšší přesnosti testu. Z toho plyne, že místy, kterými kapalina uniká jen těžko, plyn unikne snadněji a může tak být pohodlněji změřeno jeho množství.

Existence a množství unikajícího vzduchu (velikost úniku) je podmínkou automatického testování těsnosti. Únik o velikosti „0“ nelze detekovat žádnou testovací metodou, a to ani vizuálně ponořením součástky do vody. Požadavek, že při tomto testu nesmí být vidět „bubliny“, je správný, i když se během určitého úseku testu mohou objevit malé bublinky.

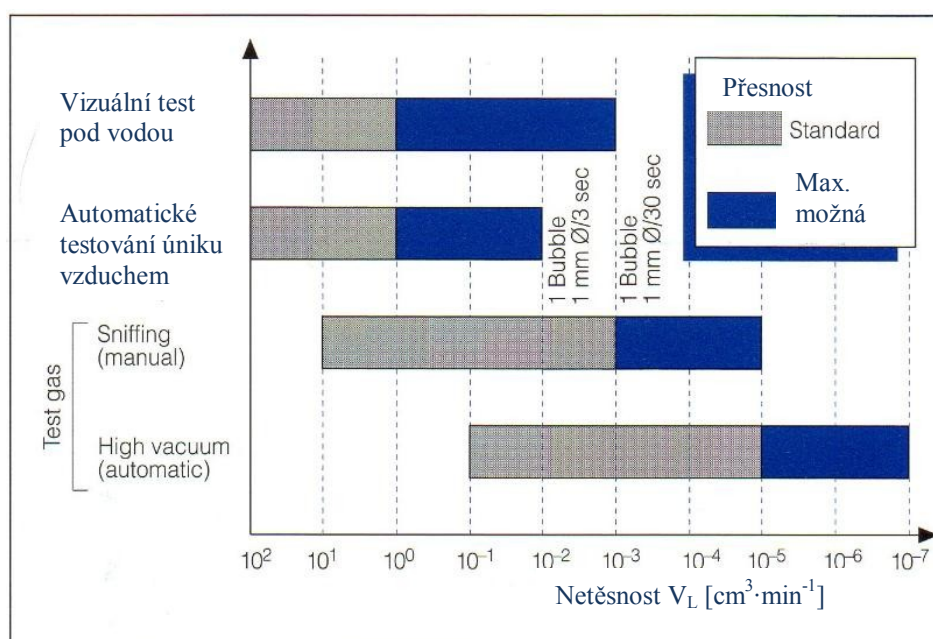
Jako příklad je možné uvést test, kdy ve vodě z testované součástky uniká vzduch, přičemž vznikají bubliny o průměru cca 1 mm. Pokud toto nastává každých 30 sekund, lze již vypočítat únik $0,001 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Pokud by takto byla testována automobilová pneumatika o vnitřním objemu 40 l, je možné vypočítat, že by tlak v pneumatice poklesl 0,1 bar za 10 let. Vystává otázka, zdali je tato pneumatika těsná. Pokud budou bubliny o průměru 1 mm unikat každé 3 sekundy, znamená to únik $0,01 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. To znamená pokles o 0,1 bar za rok. Můžeme o takové pneumatice prohlásit, že je těsná?

Povolená velikost úniku kompresoru ledničky je 1 g freonu za rok při tlaku 16 bar. To odpovídá úniku $8,4 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Pokud bude položena otázka, zda je součást těsná nebo unikající, je to kvůli definování hodnoty povoleného úniku V_{perm1} . Z toho lze odvodit, že:

$$\begin{aligned} \text{povolený únik} < V_{\text{perm1}} &= \text{těsný} \\ \text{povolený únik} \geq V_{\text{perm1}} &= \text{netěsný} \end{aligned}$$

Vizuální test ve vodě je přesná metoda pod podmínkou přesného nastavení vyhodnocovacího přístroje a s možností snadného pozorování testovaného kusu. Jestliže dosažené hodnoty úniku (ve výše uvedeném testu) mají být změřeny automatickým zařízením, je nutné pro správnou detekci použít hmotnostní spektrometr. Test úniku pod vodou je vhodný pro jeho relativní přesnost, nízkonákladovost a jeho velmi důležitou vlastností je detekování místa úniku. Nevýhodou tohoto testu je závislost na obsluze (z toho plyne malá opakovatelnost), dlouhý čas potřebný k provedení testu a nutnost součástku vložit do vody. Tyto nevýhody jsou důvodem použití vzduchového automatického přístroje.



Obr. 3 - Běžné zkušební metody úniku při hromadné výrobě [1]

Výše uvedené zařízení je již v sériové produkci značně rozšířeno. Důvody pro jeho použití jsou následující:

- vysoký výkon a spolehlivost,
- objektivní a kvantifikované určení kvality,
- krátké časy testu,
- dostatečná přesnost,
- šetrné zacházení se vzorkem,
- jednoduchá integrace přístroje do systému,
- jednoduchá kalibrace a údržba.

Vzduchový automatický přístroj pro sériovou produkci by měl splňovat i další nároky, a to tyto:

- ISO 9000,
- spolehlivost výrobku,
- dokumentace a návaznost,
- ochrana životního prostředí,
- ochrana spotřebitele,
- zlepšení pracovních podmínek.

2.2 Specifikace testu úniku

Specifikace testu úniku zahrnují dvě kritéria, a to testovací tlak a velikost úniku. Základní otázka je, jak velký únik vzduchu je přípustný, aby součástka byla těsná i v provozních podmínkách.

Dovolená velikost úniku je různá pro každou aplikaci. Závisí na mnoha faktorech např. materiál vzorku, okolnosti testování a na způsobu namáhání v provozu.

Poměr mezi únikem vzduchu a kapalinou nelze stanovit v případech velmi malých úniků (únik kapaliny blížící se nule). Pro větší hodnoty úniku lze pro odhad použít poměr viskozity. V tomto případě faktory jako tloušťka stěny součástky, povrch, porezita mohou hrát významnou roli.

Velikost úniku je vždy navázána na testovací tlak. Natlakování vzorku je provedeno tak, a to je pravidlo, aby co nejvíce odpovídalo provozním podmínkám. Je to otázka velikosti testovacího tlaku a zaměření testu.

Při výběru testovacího tlaku vyvstává otázka vztahu mezi tlakem a velikostí úniku. Při velké porezitě materiálu je zbytkový únik víceméně v proporci k velikosti testovacího tlaku. Při nízké porezitě je poměr testovací tlak vs. zbytkový únik nižší. Malé úniky také nejsou konstantní. Mohou se lišit s časem, tak jako výše uvedené testy pod vodou. Pokud je po testu úniku vzduchem provedena ověřovací zkouška úniku pod vodou, je nutné vzít uvedenou okolnost v potaz.

Dále je nutné uvažovat s ekonomickými aspekty při stanovení velikosti úniku. Dovolená velikost úniku při testu musí být přesná, ale i stanovená dle potřeb. Nestanovujeme ji níže než je nutné. Pokud je stanovena níže, než je nutné, zvýší se i počet nevyhovujících vzorků, čímž se zvyšují náklady na výrobu. Finální velikost dovoleného úniku pro sériovou produkci je nutno stanovit empiricky. V některých případech je hodnota již známa nebo ji lze stanovit ze zkušeností.

Při použití vzduchu jako testovacího média je obvykle velikost úniku udávána v $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, při použití speciálního plynu (helium) v $\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$. Vztah mezi jednotkami je $60 \text{ stand. cm}^3 \cdot \text{min}^{-1} = 1 \text{ mbar l} \cdot \text{s}^{-1}$. Jako vysvětlení těchto jednotek se může uvést následující příklad. Když kape kohoutek, rychlost úniku vody může být změřena celkem snadno, např. v $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ (litry za hodinu). Ale plyny jsou stlačitelné, a proto jejich objem závisí na tlaku, který udáváme v mbar (0,001 bar). Jeden $\text{mbar l} \cdot \text{s}^{-1}$ znamená, že za normálních pokojových podmínek dochází ke ztrátě 1 krychlového centimetru plynu za sekundu.

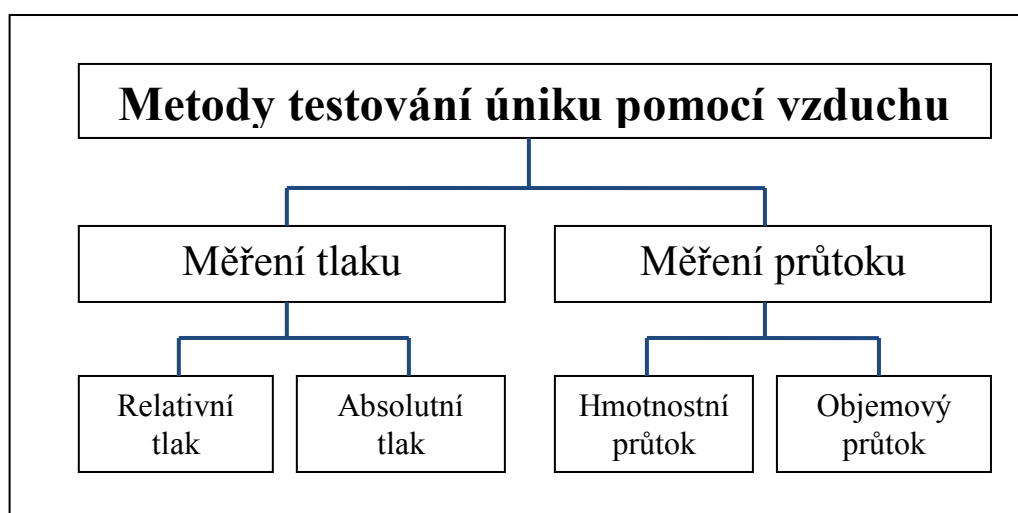
Jeden $\text{stand. cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ je množství plynu, které při standardním stavu (0 °C a 1013 mbar) vyplní prostor 1 cm^3 . 1 cm^3 není prostorová míra, ale množství plynu vyjádřené v prostorových jednotkách. Proto je jednotka cm^3 používána pro hmotnostní tok, ale nikoliv standardně pro objemový. Také pokud je množství unikajícího vzduchu indikováno v $\text{stand. cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a je provedeno buď měření hmotnostního toku, nebo měření tlaku, musí být naměřená hodnota upravena s ohledem na okolní teplotu a tlak. Pokud tuto úpravu neprovedeme, musíme hodnotu úniku stanovit přesně v $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ nebo $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$. Rozdíl mezi normálním stavem a stavem při testu je průměrně 10 %.

2.3 Různé typy měření úniků pomocí vzduchu

U automatického testování netěsnosti vzduchem je zkoušená součást vystavena rozdílu tlaků a je zjišťováno, zda vzduch neuniká. Unikající množství vzduchu nemůže být měřeno bezprostředně, nýbrž podle jeho důsledků. Existují dva zásadně rozdílné způsoby měření. Je to měření tlaku a měření průtočného množství.

Při měření tlaku je součást zatížena zkušebním tlakem a součást je pak odpojena od zdroje stlačeného vzduchu. V navazující fázi měření se kontroluje, zda se zkušební tlak v důsledku netěsností zmenšuje.

Při měření průtočného množství je součást rovněž zatížena zkušebním tlakem, ale součást zůstává připojena ke zdroji stlačeného vzduchu. Ve fázi měření se kontroluje, zda v důsledku netěsnosti neproudí do součásti další vzduch.



Obr. 4 - Schéma metod testování úniku vzduchu

2.3.1 Měření tlaku

Při průmyslovém měření těsnosti je nejčastěji používán způsob měření pomocí tlaku. Při malých zkušebních objemech mohou být zjištěny netěsnosti od $0,1 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Postup s relativním, popř. absolutním tlakem dovoluje kompaktní uspořádání a nejmenší vlastní objem měřicího systému. Navíc se vyznačuje vysokou provozní spolehlivostí a velkým rozsahem měření. Spouštění měřicího signálu je závislé na velikosti zkušebního tlaku.

U postupu s rozdíly tlaků může být při vysokých zkušebních tlacích dosaženo větší přesnosti než u postupu s absolutním tlakem, protože spouštění měřicího signálu je nezávislé na velikosti zkušebního tlaku.

U obou postupů může být měřen buď nárůst tlaku, nebo pokles tlaku. U měření poklesu tlaku při zatížení zkušebního vzorku přetlakem jsou simulovány obvyklé provozní podmínky. Při měření nárůstu tlaku u zkušebního postupu s podtlakem jsou rušivé vlivy způsobeny změnou teploty, případně objemovou nestabilitou těsnícího zařízení zkoušeného předmětu nižší než při měření poklesu tlaku. Měření nárůstu tlaku u postupu s přetlakem (pouzdrová metoda) se obejde bez vyrovnávací fáze. Kromě toho není výše zkušebního tlaku omezována měřicím rozsahem měřicího prvku, protože tento prvek není vystaven zkušebnímu tlaku.

Kompletní automatický test pomocí metody měření tlaku se skládá ze čtyř fází:

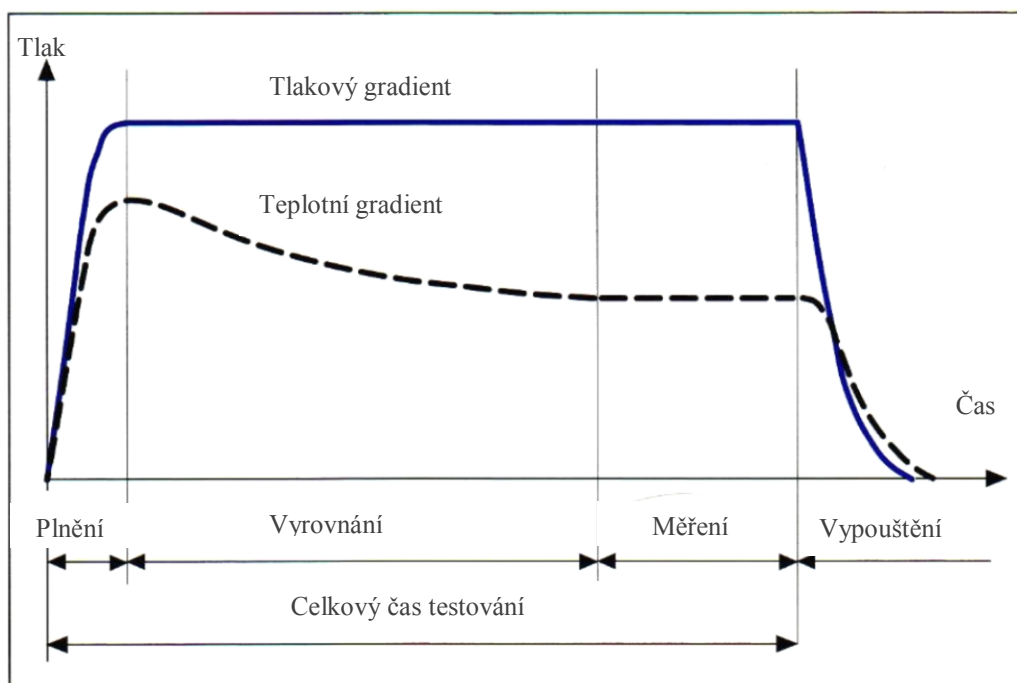
- a) plnění (filling),
- b) vyrovnání, stabilizace (balance),
- c) měření poklesu tlaku nebo množství uniklého vzduchu (test),
- d) vypouštění testovacího vzduchu (evacuate).

add a) Fáze plnění (filling)

Vzorek je naplněn vzduchem. Tato fáze může být ukončena buď nastavením času plnění, nebo maximálním tlakem, který chceme dosáhnout. Během plnění lze provést hrubé měření objemu vzorku nebo „self-test.“ Lze tak ověřit, zda přístroj řádně plní vzorek.

add b) Fáze vyrovnání (balance)

Během této fáze musí být systém stabilizován. Zklidní se víření vzduchu vzniklé během plnění a vyrovnají se rozdíly teplot testovaného vzduchu. Vzduch, přicházející do vzorku expanduje a chladne, zatímco vzduch ve vzorku je stlačován a zahřívá se. Proces zahřívání převažuje, viz obr. 5.



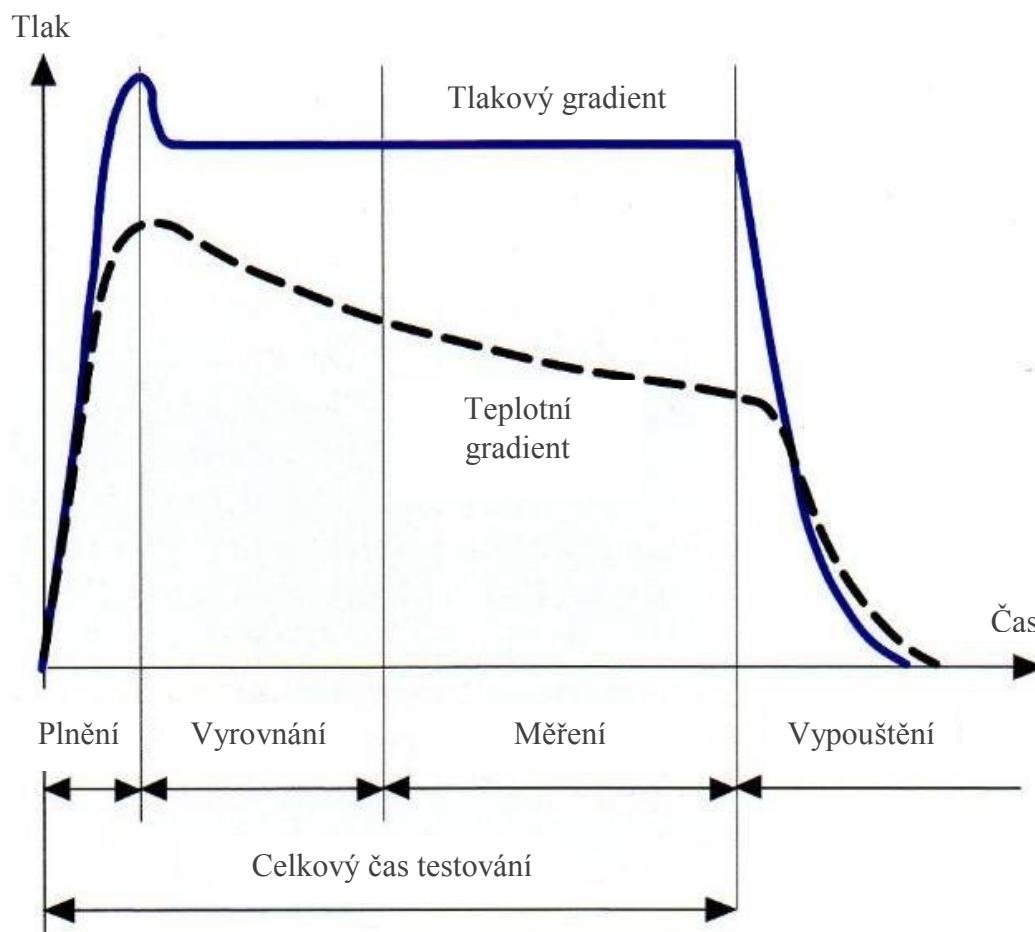
Obr. 5 - Graf teplotního a tlakového gradientu u testu vzduchem [1]

Tak jak se mění teplota, mění se i tlak ve vzorku. Pokud přístroj změří na utěsněném vzorku „0“, je nutné počkat na docílení isotermického stavu. Čas potřebný ke stabilizaci je obvykle delší, než je obvyklý maximální čas, požadovaný v sériové výrobě. Toto má za následek tzv. „nekompletní vyrovnání“.

Fázi vyrovnání můžeme zkrátit těmito způsoby:

- Kompenzační plnění (šokové plnění) – při použití kompenzačního plnění je vzorek plněn nepatrně větším tlakem, než je tlak testovací. Při změně fáze z plnicí na vyrovnávací je tlak opět snížen na tlak testovací. Vzduch se během expanze ochlazuje, čímž je kompenzováno „nekompletní vyrovnání“. Změnou hodnoty plnicího tlaku lze dosáhnout při testování utěsněného vzorku „nulového úniku“. Navíc toto kompenzační plnění zkracuje fázi plnění (čas).
- Pokročilé měření času (optimalizované vyrovnání) – pokud je naměřen nulový únik, což není vždy cílem testu, lze fázi vyrovnání zkrátit prodloužením fáze měření (viz obr. 6). Čas vyrovnání může být zkracován, dokud se stav systému před začátkem fáze měření nemění. V případě měření utěsněného vzorku je vypočítána hodnota X, kterou je nutno přičíst k maximální povolené hodnotě úniku.

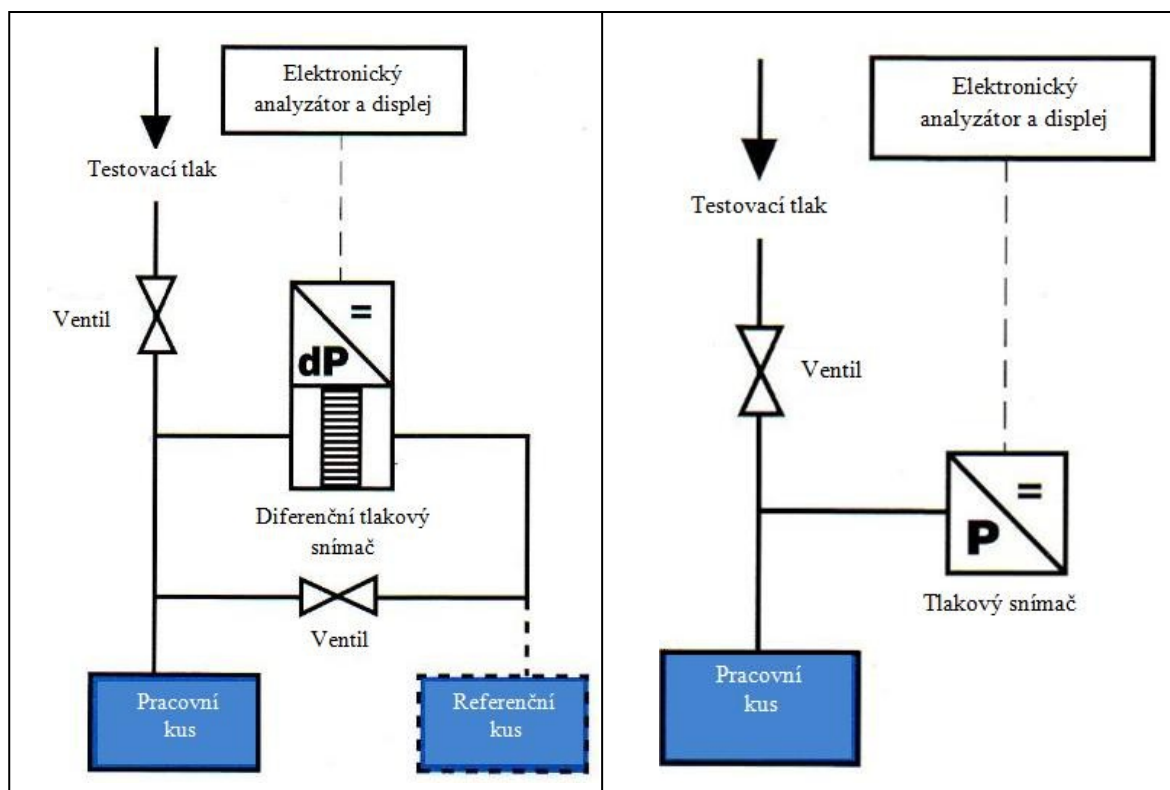
V praxi se obvykle obě metody využívají zároveň.



Obr. 6 - Graf zkrácení doby vyrovnání prodloužením měřicí fáze [1]

add c) Fáze měření (test)

Množství vzduchu unikajícího ze vzorku vyvolává pokles tlaku, který je měřitelný a zaznamenatelný. Pokles jde měřit diferenčním snímačem tlaku jako rozdíl mezi tlakem ve vzorku a v referenčním prostoru, nebo tlakovým snímačem, zaznamenávajícím rozdíl absolutního tlaku viz obr. 7.



Obr. 7 - Základní schéma diferenciálního měření tlaku (vlevo)
a absolutního měření tlaku (vpravo) [1]

Tam, kde je nutné určit čas plnění a vyrovnání empiricky, lze použít pro výpočet času Boyle-Mariottovu rovnici [11]:

$$\frac{p \cdot V}{T} = konst$$

Zde se předpokládá, že proces probíhá isothermicky. Rovnice lze poté upravit:

$$p \cdot V = konst$$

V podmínkách testování pomocí poklesu tlaku lze rovnici užít takto:

$$p_1 \cdot V_t = p_2 \cdot V_t + p_{at} \cdot V_L$$

kde:

p_1 ... tlak ve vzorku na začátku měření,

p_2 ... tlak ve vzorku na konci měření,

V_t ... objem vzorku,

p_{at} ... atmosférický tlak,

V_L ... objem uniknutého vzduchu.

Rozdíl tlaku během fáze měření je vyjádřen takto:

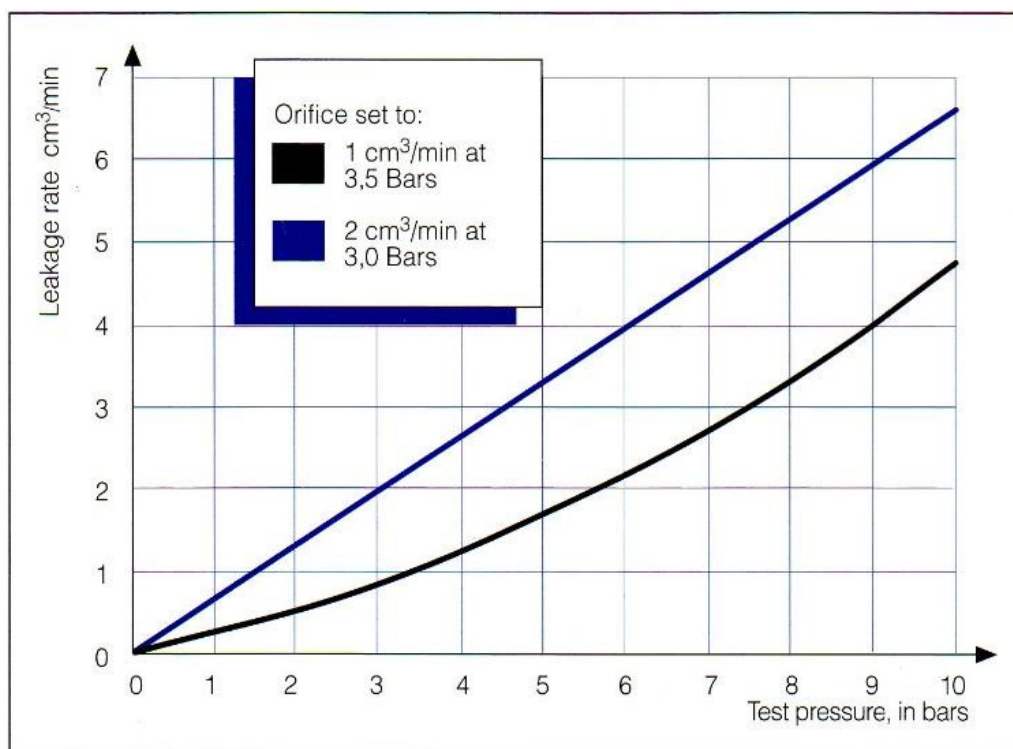
$$\Delta p = p_1 - p_2$$

kde $p_2 = p_1 - \Delta p$, rovnice pro fázi měření je:

$$\Delta p \cdot V_t = p_{at} \cdot V_L \quad \text{nebo} \quad \Delta p = p_{at} \cdot \frac{V_L}{V_t}$$

Je důležité, že v této rovnici není uvedena hodnota testovacího tlaku. Testovací tlak nemá žádný vliv na velikost změny tlaku v testovacím prostoru. Jinak řečeno, pokles tlaku ve vzorku je stejný, i když je testovací tlak 1 nebo 10 bar.

Při změně velikosti testovacího tlaku ovšem dochází ke změně velikosti úniku, viz obr. 8.



Obr. 8 - Graf netěsnosti jako funkce zkušební tlaku [1]

Pro dané testovací podmínky lze určit dobu trvání fáze měření takto:

$$t_m = \frac{RP \cdot V_t \cdot 60}{p_{at} \cdot V_L}$$

kde:

t_m ... doba měření v sekundách,

RP ...reject point - max. přípustná hodnota v mm vodního sloupce nebo barech
(max. hodnota nastavená na testovacím přístroji),

p_{at} ... atmosférický tlak v mm vodního sloupce nebo barech
(1 bar = 104 mm vodního sloupce),

V_t ... objem vzorku v cm^3 ,

V_L ... objem uniknutého vzduchu v $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Jako příklad se může uvést výpočet doby měření u olejového prostoru spalovacího motoru (obvykle bývá testovací objem 25 litrů). Zkušební fáze je závislá na testovacím objemu a rychlosti úniku.

Tab. 1 - Porovnání zkušebních metod použitých na příkladu čtyřválcového motoru [1]

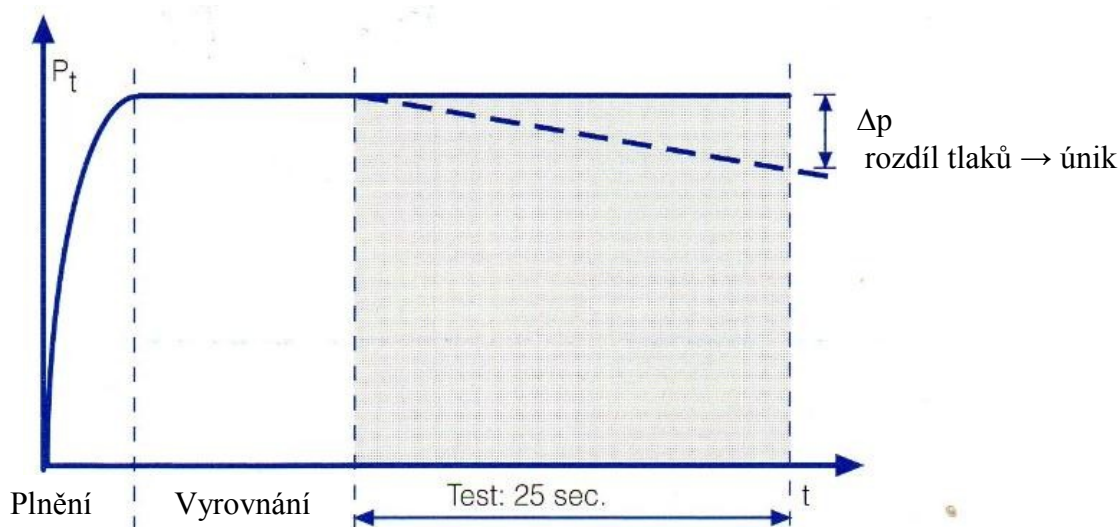
Typické specifikace testu		
	Testovací tlak p_T	Velikost úniku V_L
Olejový prostor	0,3 bar	$30 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Vodní prostor	1 bar	$10 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

RP = 0,0005 bar = 50 Pa

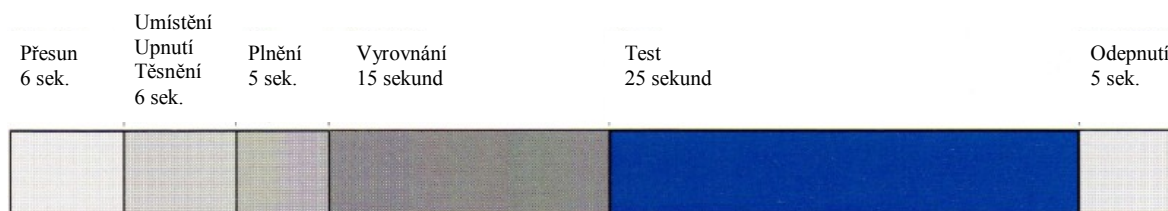
P_{at} = 1 bar = 10^5 Pa

Výpočet může vypadat takto:

$$t_m = \frac{RP \cdot V_t \cdot 60}{p_{at} \cdot V_L} = \frac{0,0005 \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 60}{1 \cdot 30} = 25 \text{ sekund}$$



Obr. 9 - Graf znázornění měřicího času při testu [1]



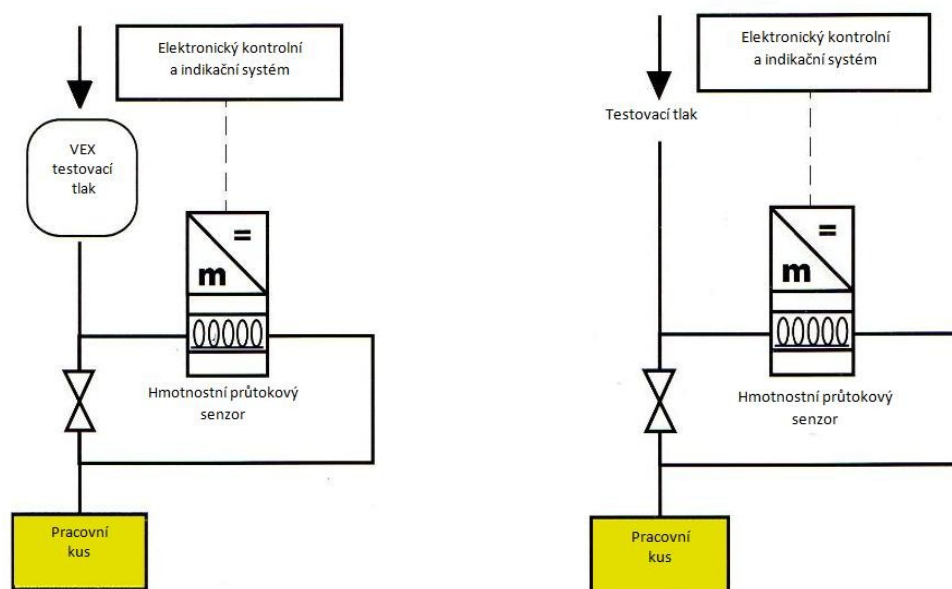
Obr. 10 - Konvenční test a přetlaková metoda [1]

2.3.2 Měření průtoku

Zatímco při měření tlaku se měřicí signál s větším použitým zkušebním objemem zmenšuje, měření průtoku poskytuje měřicí signál, který je nezávislý na zkušebním objemu. To je předností při kalibraci. Měřicí signál odpovídá průtoku vzduchu přes kalibrační netěsnost. [9]

Zpravidla měření objemového průtoku (např. pokles tlaku přes clonu) nebývá používáno ke kontrole těsnosti, nýbrž ke kontrole průtoku. Jako například při kontrole průchodnosti plynového systému, která je kontrolována tím samým měřicím prvkem (čidlem rozdílu tlaků) u následně vřazeného měření těsnosti, po postupu s poklesem tlaku.

Při měření hmotnostního toku (termický postup měření) je měřicí signál nezávislým nejen na velikosti zkušebního objemu, nýbrž je nezávislým i na výši atmosférického tlaku a na atmosférické teplotě. Měřicí signál přitom odpovídá bezprostředně velikosti netěsnosti v stand. $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Velikost netěsnosti nemusí být vypočítávána – jako u postupu s měřením tlaku. [14]



Obr. 11 - Schéma zapojení pro měření těsnosti průtokem.

Vlevo únik do $100 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ a vpravo nad $100 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ [1]

Na obr. 11 vlevo je znázorněno schéma zapojení pro únik menší než $100 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Měřicí signál je nezávislý na zkušebním objemu a tlaku. Toto zapojení je nejkratším testem pro velké zkušební objemy a malé úniky.

Na pravém obrázku je znázorněno schéma zapojení pro únik větší než $100 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Měřicí signál je taktéž nezávislý na zkušebním objemu a tlaku. Je ale přímo úměrný úniku při standardních referenčních podmínkách. Je ideální pro opakované měření.

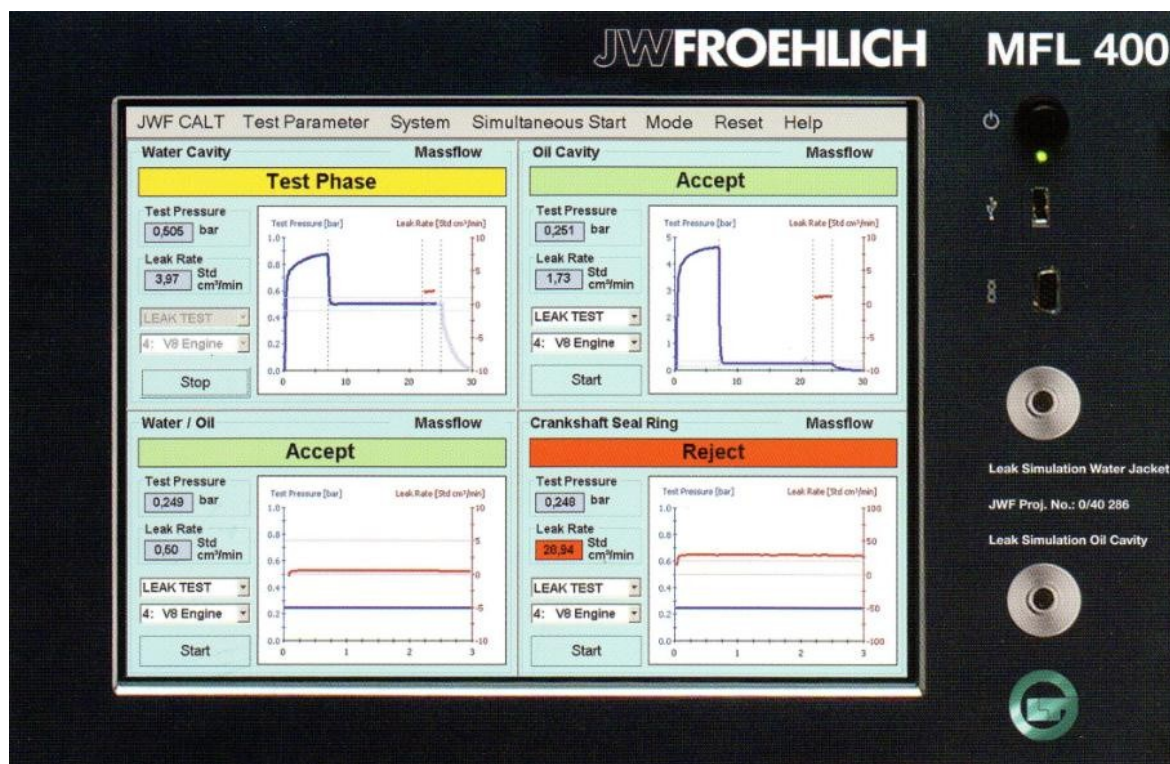
Technika JWF na testování netěsností

Přístroje JWF pro testování netěsností, série 400

- 4 různé postupy měření
- Ovládací plocha Windows
- 15" monitor Touch-Screen, možnost připojení myši a klávesnice
- Online zobrazení průběhu zkoušky
- Návod k obsluze a pomocné texty na displeji
- Ukládání dat:
 - až do 100.000 výsledků zkoušek
 - až do 5.000 průběhů křivek
- Statistické vyhodnocování výsledků zkoušek
- Až 12 měřících kanálů po 32 volně programovatelných zkušebních programech
- Rozhraní:
 - na čelní stěně: 1 x sériové / 1 x USB
 - na zadní stěně: 1 x Profibus
- Volně programovatelné nastavení zkušebního tlaku
- Online propojení na JWF kalibrátor netěsností



Obr. 12 - Jeden z přístrojů firmy JWF na testování netěsnosti [1]



Obr. 13 - Displej přístroje MFL 400 při testu těsnosti osmiválcového motoru [1]

Na obr. 13 je znázorněn multikanálový panel při testech netěsnosti u osmiválcového spalovacího motoru. Na displeji mohou být znázorněny až čtyři zkoušky těsnosti současně. Panel znázorňuje příklad testování sestavy motoru, a to:

- test těsnosti prostoru pro vodu,
- test těsnosti prostoru pro olej,
- porovnání testu mezi vodním a olejovým prostorem,
- test těsnosti klikové hřídele.

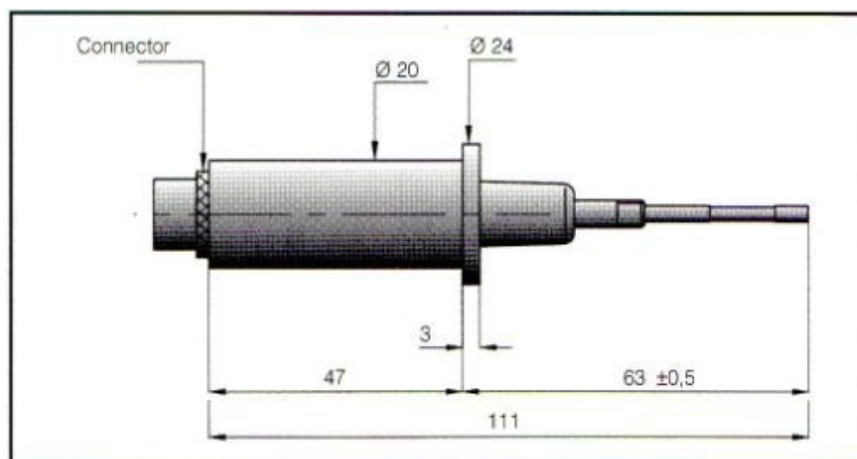
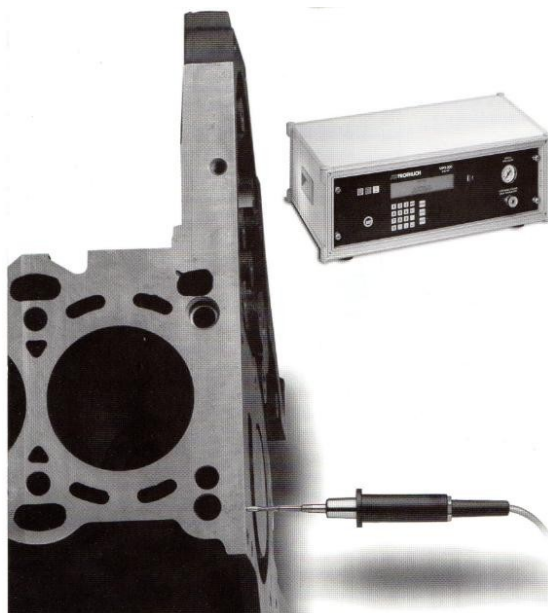
2.4 Obecné vlivy na výsledky měření

Při automatickém testování velikosti úniku stlačeným vzduchem, nelze „unikající vzduch“ měřit přímo, ale pouze sledováním změn tlaku v testovacím prostoru, které jsou tímto únikem způsobeny. Podle zákonů chování plynů jsou také teplota a objem důležitými faktory, které ovlivňují tlak v testovacím prostoru nebo přímo ve vzorku. Pro co nejpřesnější provedení testu je proto nutné předpokládat, že způsobené změny jsou především v důsledku úniku.

a) Přesnost měření může být zhoršena těmito faktory:

- Vliv teploty

Teplota testovaného vzduchu se v průběhu jednotlivých fází měření nesmí měnit nebo se případně teplotní rozdíly musí přesně a pravidelně opakovat u každého měření. Aby bylo možné zachovat tento požadavek, musí být všechny zapojené součásti, a hlavně testovaný kus, v utěsněném systému se stejnou teplotou nebo vždy se stejným teplotním rozdílem pro každé měření. Za normálních podmínek lze většinou dosáhnout pouze sblížení těchto teplot. Proto je nutné během sériové produkce povolit určité tolerance. Firma JW Froehlich je držitelem patentu DE-C-3 106981 pro kompenzaci vlivu teploty během měření. Potřeba kompenzace teploty závisí na poměru mezi velikostí změny testovacího signálu vzhledem k povolené velikosti úniku a na velikosti změny testovacího signálu k působení teploty.

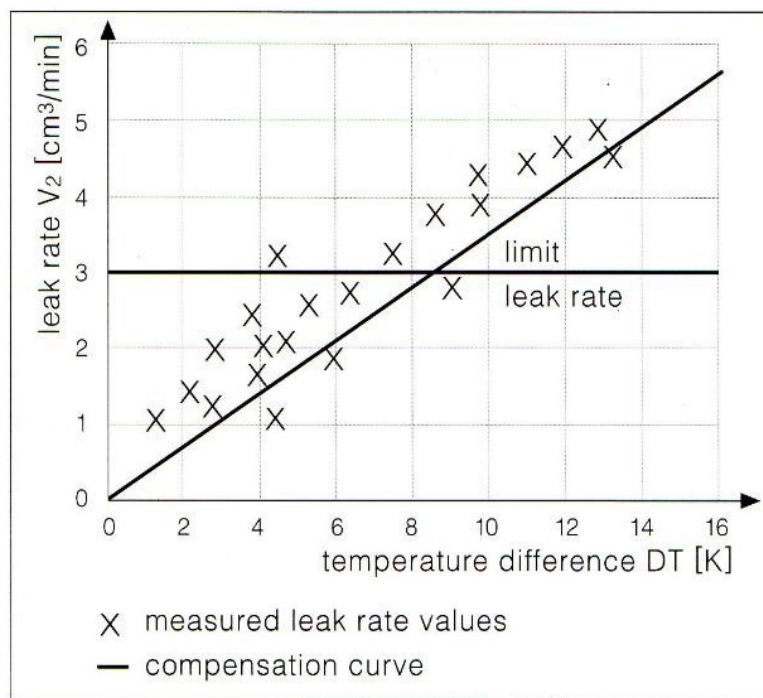


Obr. 14 - Čidlo kompenzátoru teploty od firmy JW Froehlich [1]

Bez teplotní kompenzace všechny části s větším tepelným rozdílem jak je 9 °C nemusí být v pořádku.

- Změny objemu

Testovaný objem se nesmí během měření měnit. Zmenšení objemu způsobené např. větším přitlakem těsnících prvků kompenzuje případný únik, zatímco zvětšení objemu způsobené testovacím tlakem simuluje únik. Aby se zamezilo vlivu těsnících prvků na přesnost měření musí se dimenzovat tak, aby kontakt se vzorkem byl (tzv. kov na kov), tj. tak aby se těsnící prvky vlivem testovacího tlaku a měřicího cyklu vůbec „nepohybovaly“. Při použití metody měření tlaku, objem vzorku určuje velikost úniku, a proto uvedené vlivy zvětšují velikost chyby měření.



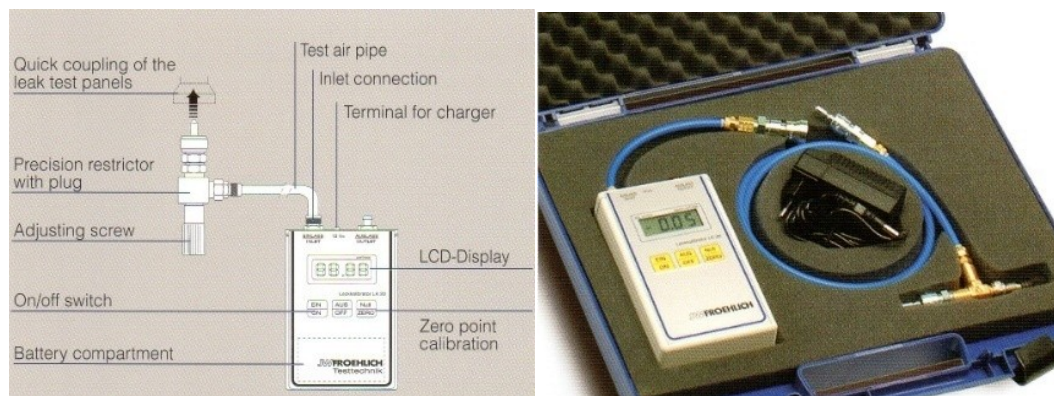
Obr. 15 - Graf teplotní kompenzace naměřených hodnot [1]

- Opakovatelnost měření, zaručená přístrojem

Kvalitu přístroje pro průmyslové využití určuje především opakovatelnost a schopnost kompenzovat různé okolnosti měření. Opakovatelnost se skládá z odchylek (tolerancí) jednotlivých použitých komponentů, jako jsou měřicí sondy, řídicí jednotka, ventily, trubice a tlakové regulátory.

- Kalibrace

Přesnost nebo výkon přístroje závisí na přesnosti simulátoru úniku, podle kterého byl přístroj kalibrován. Je možné použít nastavitelné ventily přímo v přístroji spolu s měřičem průtoku, který je použit pro simulaci úniku. Metoda simulace úniku je jednoduchá, nicméně přesnost průtokoměru je jen 3% z celého rozsahu. Navíc je někdy obtížné průtok detekovat. Pro správnou kalibraci měřicího systému je vhodné použít vzorek o známé velikosti úniku, který se vloží do systému (testovací stanice) a dovolená velikost úniku je simulována za různých podmínek. Toto se provede pomocí ventilu, který je vložen mezi vzorek a přístroj. Ventil musí být kalibrován na známou velikost úniku, obvykle v rozsahu používaném v sériovém testování. Ventily jsou jak s fixní velikostí úniku, tak regulovatelné, které mohou být nastaveny až na hodnotu $0,1 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Vzduch unikající z ventilu je měřen kalibrátorem nebo „standardem“, který má rozlišení lepší než $0,01 \text{ stand. cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 16 - Kalibrátor značky JW Froehlich LK20 [1]

b) Přístroj pro měření úniku nemůže rozlišit typ úniku

- **Problémy s těsněním**

Měřicí prvek v přístroji nedokáže odlišit, zda je únik způsoben skutečnou netěsností vzorku nebo netěsností systému. V případě, že se v sériové produkci objevují stále dokola nevyhovující výrobky, je to obvykle způsobeno opotřebovaným těsněním nebo netěsností systému.

- **Akumulovaný únik**

Během automatického testu je změřena jak velikost úniku jako takového, tak i případný únik na těsnících bodech. Zde může součet falešných úniků překročit v součtu s „pravým“ únikem dovolenou mez, a tím způsobit vyhodnocení jinak dobrého vzorku jako vadného kusu. Při určování maximální velikosti úniku je nutno případné falešné úniky brát v potaz.

c) Vlhkost na kontaktních plochách testovacího prostoru

- **Vlhkost**

Případný únik může být „utěsněn“ povrchovou vlhkostí nebo vlhkostí uvnitř vzorku. Je přitom vyhodnocen jako dobrý, přičemž netěsnost je zjištěna až při další pracovní operaci. Při testech bloků válců ze šedé litiny se ukázalo, že vzduch uniká na suchém vzorku až do výše $80 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, ale u vzorku vlhkého již tento únik není detekován. Dokonce ani použití vyššího tlaku k „profouknutí“ případných porezit (únikových prostor) nebylo účinné. Je proto důležité vzorky udržovat suché, aby bylo možné dosáhnout správných výsledků měření.

3 Metody testování

Metrologická návaznost je vlastnost výsledku měření, pomocí níž může být výsledek vztažen ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací, z nichž každá se podílí svým příspěvkem na stanovené nejistotě měření. [12]

Hlavním důvodem, proč se kalibruje, je zaměnitelnost výrobků vyráběných v jednotlivých provozech v ČR, ale i ostatních částech celého světa. Například výrobky vyráběné v Asii jsou sestavovány v ČR do celků, které musí splňovat požadavky cílových zákazníků po celém světě. Definice pojmu kalibrace je uvedena v normě TNI 01 0115:2009 a zde je uvedena její citace. „Kalibrace je činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace.“[15] Kalibrace může být vyjádřena údajem, kalibrační funkcí, kalibračním diagramem, kalibrační křivkou nebo kalibrační tabulkou.

Na základě definice pojmu a praktických poznatků lze konstatovat, že se jedná o posloupnost dílčích činností ve dvou hlavních krocích, kde první krok začíná hodnotami veličiny poskytnutými etalony a druhý končí výsledkem měření, který je získán z indikace. Pro kalibraci v případě pracovního měřidla je tak činnost ve druhém kroku ukončena až po získání výsledku každého dílčího měření, které je měřidlem prováděno, indikace je korigována na základě znalosti jejího rozdílu (její chyby) s referencí. Kalibrace je v tomto smyslu dynamický proces, který se opakuje při každém použití pracovního měřidla při měření. [12]

3.1 Kalibrace měřicích přístrojů a měřicích systémů

Měřicí přístroje a měřicí systémy současné generace jsou řízeny za pomoci hardware a software výpočetní techniky a není u nich obecně komukoliv umožněno provedení zápisu údajů na hardware, získaných v prvním kroku činnosti kalibrace a naplnění tak základního vstupního požadavku k činnosti ve druhém kroku. V prvním kroku metrolog měřicí systém proměří v plném rozsahu podle kalibračních postupů (zpravidla výrobce měřidla), analogicky se standardní běžnou kalibrací pracovního měřidla. Druhý krok začíná zapsáním příslušných údajů na hardware měřicího systému, aby byl dán předpoklad

k realizaci úplné činnosti ve druhém kroku, a to stanovení vztahu k získání výsledku měření z indikace. Tento vztah vznikne až softwarovým zpracováním každé dílčí indikace v procesu měření, ke které obsluha měřicího systému obecně nemá přístup; nevidí ji. Duplicitní zápis údajů, zjištěných v prvním kroku kalibrace, do „lidsky čitelného záznamu“ postrádá po obsahové stránce smysl, protože pro PC jsou tyto údaje nepoužitelné. Měřicí systém provádí druhý krok činnosti kalibrace automaticky od sejmnutí hodnoty veličiny až po zobrazení výsledku měření některou z forem, která je srozumitelná jeho obsluze k dalšímu řízení procesu měření produktu. Takto je zajištěna metrologická návaznost výsledku měření ke stanovené referenci, kde pracovní měřidlo, měřicí systém, a i obsluha měřidla (operátor), jsou součástí hierarchie návaznosti. Na tomto místě vzniká požadavek důkazu metrologické návaznosti; vztahu ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací [12].

V nejjednodušším případě je to jakýkoliv věcný dokument a může jím být zápis dodavatele služby, pracovní výkaz (podložený dodacím listem a fakturou), kalibrační značka, anebo jiné standardní dostupné formy záznamu mimo „Kalibrační list“ nebo jiný zavádějící název. Takový záznam zpravidla předkládá výrobce měřidla nebo jeho autorizovaný zástupce. S ohledem na zákon 505/1990 Sb., o metrologii, v platném znění výrobce nemusí splňovat ustanovení zrušeného § 20; mít statut kalibrační laboratoře a mít přidělenou kalibrační značku. Výrobci měřidel a jejich autorizovaní servisní zástupci však zpravidla nejsou akreditováni a nesplňují tak podmínku pro dodavatele do automobilového průmyslu, která je uvedena v ČSN P ISO/TS 16949:2009. [12]

3.1.1 Současné trendy – Multifunkční kalibrátory

Multifunkční sekundární kalibrátory, které mají kromě číslicového etalonu tlaku s jedním nebo více senzory různého rozsahu ve velmi kompaktním provedení, také moduly pro měření dalších fyzikálních veličin. Typická je kombinace s elektrickými veličinami a teplotou. Tyto vlastnosti jsou využitelné při kalibracích pracovních měřidel v provozních podmínkách.

3.1.2 Automatizace kalibrací

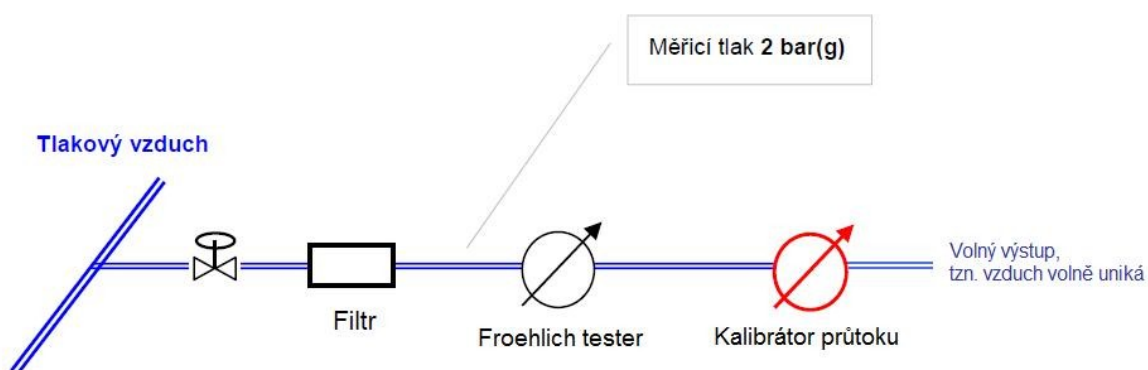
S dalším vývojem přichází vzhledem k ceně lidské práce automatizace kalibračních procesů. Na trhu existuje několik typů např. modulovaných zpravidla číslicových etalonů tlaku doplněných automatickým regulátorem tlaku, schopným nastavit rychle a efektivně požadovanou hodnotu tlaku. Kromě vyšší rychlosti je důležitá i eliminace chyb působených obsluhou; je například minimalizováno riziko překročení nejvyššího přípustného tlaku.

3.2 Kalibrace průtokoměrů

Tato kapitola popisuje obecný postup a podmínky pro kalibrace digitálních průtokoměrů vzduchu do $50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ s dovolenou chybou 2%.

Pro jednotlivá měření budou použita tato měřidla a pomůcky:

- etalonový průtokoměr, výrobce MSK Instruments, rozsah $0 - 50 \text{ Nl} \cdot \text{min}^{-1}$ vzduch,
- kalibrovaný průtokoměr, výrobce JW Froehlich MPQ 60, rozsah $0 - 50 \text{ Nl} \cdot \text{min}^{-1}$ vzduch,
- sada propojovacích PVC hadic a šroubení,
- digitální teploměr / vlhkoměr,
- vzduchový filtr.



Obr. 17 - Schéma zapojení pro kalibraci průtokoměru [2]

3.2.1 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace přístrojů se musejí vždy provádět za jasně stanovených podmínek, které jsou uvedeny v příslušné zprávě. Většina kalibrací je prováděna přímo u zákazníka, a tudíž zde nejsou ideální laboratorní podmínky.

Přístroje se kalibrují při teplotě okolního vzduchu v laboratoři $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, pro přístroje kalibrované u zákazníka $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$. Změny teploty prostředí nesmí překročit $0,2^\circ\text{C}$ za minutu. Relativní vlhkost vzduchu musí být $\leq 80\%$ a při atmosférickém tlaku $(86 - 108)$ kPa. Při měření nesmí být v blízkosti zdroje tepla, chladu, otřesů a elektromagnetického rušení, respektive rušivé vlivy nesmí vyvolat větší chybu jak 10% povolené chyby přístroje. Pokud výrobce stanoví jiné podmínky při kalibraci, než je uvedeno výše, provede se tato kalibrace podle těchto podmínek a tato skutečnost se uvede do kalibračního listu. Před zkoušením se musí průtokoměry temperovat nezbytně nutnou dobu při teplotě okolního vzduchu. Tato doba je odvislá od předchozích podmínek, ve kterých byl průtokoměr umístěn. Pokud tyto podmínky nejsou známy, tak po dobu minimálně 6 hodin. Propojení zkoušeného průtokoměru a etalonového průtokoměru musí být provedeno tak, že tlaková ztráta propojovacích hadic je zanedbatelná. Při kalibraci mimo prostory laboratoře je nutné dodržet pracovní podmínky pro použité kalibrační zařízení, tyto podmínky monitorovat a zohlednit ve výpočtu nejistot.

3.2.2 Postup kalibrace

Všeobecné podmínky

Pokud průtokoměr nevyhoví některé zkoušce, z dalšího zkoušení se vyřadí, nebo se provede seřízení či oprava, pokud to umožňuje charakter zjištěných chyb. Průtokoměr se smí zkoušet etalonovým zařízením s celkovou přesností vhodnou v každé kalibrované úrovni jednu polovinu požadované třídy přesnosti zkoušeného průtokoměru. Jako průtokové médium se používá neagresivní plyn (vzduch). Použité médium je nutné uvést do kalibračního listu.

Jestliže jsou výrobcem nebo předkladatelem požadovány speciální zkoušky nebo postupy při kalibraci, provedou se tyto zkoušky nebo postupy v souladu s požadavky

výrobce nebo předkladatele. To musí být uvedeno v kalibračním listě a nesmí být v rozporu s touto metodikou.

Kalibrovaný průtokoměr se musí ustavit do předepsané pracovní polohy, resp. do polohy vyznačené na přístroji nebo v návodu na obsluhu.

Vizuální kontrola

Vnější prohlídka se provádí při přebírání měřidla netěsnosti od zákazníka. Kontroluje se celkový stav přístroje s ohledem na jeho způsobilost pro další použití. Dále se kontroluje, zda na přístroji nebo v technické dokumentaci přístroje jsou vyznačeny následující údaje:

- a) značka měřicí jednotky,
- b) třída přesnosti nebo přesnost,
- c) měřicí rozsah,
- d) pracovní poloha přístroje, pokud to charakter přístroje vyžaduje,
- e) nápis nebo označení prostředí pro speciální prostředí přístroje,
- f) výrobní číslo a jiné nevyhnutelné nápisy a symboly, které obsahují informace o přístroji a způsobu použití.

Funkční zkouška

Etalonový a kalibrovaný průtokoměr se vhodně propojí dle doporučení výrobce. Měřidlo netěsnosti (a tím i kalibrovaný průtokoměr) se ustaví do předepsané pracovní polohy.

Etalonový a kalibrovaný přístroj se elektricky zapojí a oba se nechají temperovat. Doba temperování po zapnutí musí být větší z minimálních hodnot specifikované pro etalonové a kalibrované měřidlo. Potom se provedou následující zkoušky:

- zkušební zatížení průtokem kalibrovaného měřidla,
- kontrola těsnosti měřicího systému,
- předběžná kontrola indikace měřidla.

Provede se kontrola údaje při nulovém průtoku a případně se nastaví nula.

Při zkušebním zatížení se měřidlo nejméně 3x zatíží na maximální hodnotu průtoku s prodlevou 1 minuta. Při zatěžování průtokem se odečítají hodnoty při (0, 50 a 100)% rozpětí ve vztahu k jeho specifikaci.

Dále se provede kontrola těsnosti systému. Pokud se u systému projevuje netěsnost, je nutno průtokový systém přetěsnit a zkoušku opakovat. Pokud i po přetěsnění systém vykazuje netěsnost, průtokoměr se z další kalibrace vyřadí.

Pokud odečtené hodnoty neodpovídají specifikacím a je možnost podle dokumentace výrobce provést seřízení, pak se provede seřízení.

Při zatěžování a odlehčování průtokem se také sleduje plynulost indikace kalibrovaným měřidlem. Indikované hodnoty se přitom musí měnit plynule v závislosti na změně průtoku. Pokud změna indikace není plynulá nebo jinak vykazuje nesprávnou funkci značící poruchu průtokoměru, průtokoměr se z další kalibrace vyřadí.

U digitálních zobrazovačů se také sleduje, zda se zobrazují všechny segmenty.

Vlastní zkouška

Kalibrované hodnoty se musí nastavovat zespodu, resp. shora, přičemž dojde-li k přejetí kalibrované hodnoty, musíme se vrátit na bod předešlý a nastavení opakovat. Kalibrované hodnoty se nastavují na etalonu a na kalibrovaném měřidle se odečítá skutečná hodnota průtoku. Horní mez měřicího rozsahu a nula jsou povinně zkušebním bodem.

Na horní mezi rozsahu po zkoušce stoupajícím průtokem a před zkouškou klesajícím průtokem se průtok ponechá minimálně 2 minuty. Odečet údajů se provádí po nastavení průtoku na zvolenou hodnotu a po ustálení údajů kalibrovaného a etalonového měřidla (nejméně 2 minuty).

Při kalibraci průtokoměrů se kalibrace provádí jednou v šesti průtokových bodech při stoupajícím průtokem a při klesajícím průtokem (přednostně 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % a 100 %). Opakovatelnost se vyhodnotí ze tří opakovaných měření v jednom průtokovém bodě (přednostně 60 % z měřicího rozsahu). Typická dovolená chyba kalibrovaných měřidel průtoku měřidel netěsnosti je 2 %.

Rozsah zkoušky se omezí nebo rozšíří v případě speciálního požadavku objednatele na počet nebo rozmístění kalibračních bodů, a to jak v případě kalibrace před nastavením přístroje, tak po nastavení přístroje. Tyto skutečnosti se zaznamenají v kalibračním listě.

Po celou dobu kalibrace musí být kontrolováno okolní prostředí, které musí splňovat požadované podmínky měření. Při překročení podmínek prostředí musí být kalibrace přerušena a pokračovat v ní až po dosažení možnosti splnění.

Záznam výsledků měření

Technik kalibrační laboratoře zaznamenává výsledky měření a podmínky při měření do „Pracovního protokolu“. Pracovní protokol obsahuje tyto údaje:

- a) zákazník (uživatel měřidla),
- b) číslo zakázky,
- c) datum a čas,
- d) název měřidla,
- e) rozsah měřidla,
- f) výrobce měřidla,
- g) použitý etalon,
- h) identifikaci použité metodiky,
- i) normu pro vyhodnocení naměřených parametrů,
- j) relativní vlhkost vzduchu během kalibrace,
- k) teplotu při kalibraci (na začátku a na konci kalibrace),
- l) jméno technika, který provedl kalibraci,
- m) naměřené hodnoty,
- n) nejistotu měření,
- o) číslo souvisejícího kalibračního listu (tento údaj se vystavuje při vystavení kalibračního listu).

3.2.3 Vyhodnocení výsledků měření

Označení použité při vyhodnocení naměřených hodnot:

$j = 1, m \dots\dots$ počet hodnot průtoku nastavených v rozsahu kalibrace,

$i = 1, n \dots\dots$ počet sérií měření,

$Q_e \dots\dots\dots$ hodnota průtoku nastavená etalonem průtoku,

$u_{Q_e} \dots\dots\dots$ standardní kombinovaná nejistota Q_e ,

$Z \dots\dots\dots$ index pro označení zatěžovací části série měření,

- O index pro označení odlehčovací části série měření,
 Q hodnota průtoku odečtená na kalibrovaném průtokoměru,
 Q_{Zji}, Q_{Oji} j -tá hodnota průtoku v i -té sérii měření při zatěžování, odlehčování,
 $\bar{Q}_{Zj}, \bar{Q}_{Oj}$ j -tá střední hodnota průtoku při zatěžování, odlehčování,
 FS měřicí rozpětí kalibrovaného průtokoměru (horní mez rozsahu).

Určení výsledné hodnoty kalibrace

Pro jednotlivé zkušební průtoky se stanoví průměrné hodnoty z hodnot odečtené etalonovým měřidlem při zatěžování a odlehčování a rozdíl mezi odečtenými údaji. Pro opakovaná měření se stanoví rozdíl mezi minimem a maximem hodnot.

Ze stanovených rozdílů se určí maximální rozdíl. Tato hodnota nahrazuje nejistotu stanovovanou způsobem A. Současně také zahrnuje rozptyl nastavení průtoku a vliv hystereze (ten pro kalibrované přístroje je z principu minimální).

Pro průměrnou hodnotu se stanoví korigovaná hodnota průtoku Q_{ejk} dle kalibračního listu. V mezilehlých hodnotách se korekce stanoví lineární interpolací:

$$Q_{ejk} = Q_{je} \cdot \left(1 + \frac{\delta_{KLn}}{100} + \frac{Q_{ej} - Q_{KLn}}{Q_{KLn+1} - Q_{KLn}} \cdot \frac{\delta_{KLn+1} - \delta_{KLn}}{100} \right)$$

- kde: Q_{je} j -tá hodnota průtoku nastavená etalonem průtoku,
 Q_{KL} hodnota průtoku dle kalibračního listu,
 δ_{KL} relativní chyba dle kalibračního listu.

Stanoví se relativní chyby pro jednotlivé hodnoty nastavených průtoků:

$$\delta_j = \frac{Q_j - Q_{ejk}}{FS} \cdot 100\%$$

- kde: Q_j j -tá hodnota průtoku odečtená na kalibr. průtokoměru,
 δ_j relativní chyba pro j -tou hodnotu průtoku.

Jako výsledek kalibrace se uvede v tabulce naměřených hodnot pro každý bod nastavená hodnota průtoku, konvenčně pravá hodnota a relativní chyby. Stanovená nejistota je stanovena z maximálních hodnot a vztahuje se pro všechny kalibrační body.

Podmínky při měření:

- teplota vzduchu při měření $(21 \pm 2,0)^{\circ}\text{C}$,
- relativní vlhkost prostředí $(39 \pm 10)\%$,
- použité tlakové medium – vzduch.

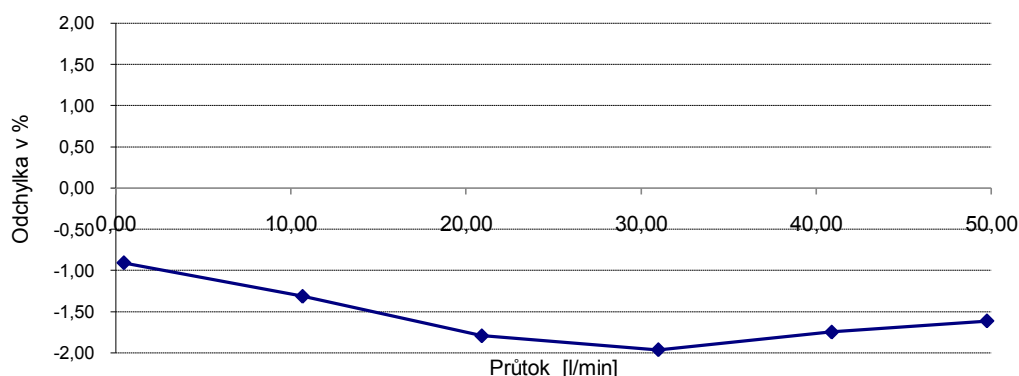
Následující část popisuje výsledky měření, naměřené při testu v laboratoři, dle schématu na obr. 17. Referenční podmínky, na které je přepočítán průtok, jsou 1013,25 hPa, 0°C .

Měření průtoku 0 – 50 $\text{Nl}\cdot\text{min}^{-1}$

Tab. 2 - Výsledky měření průtoku o rozsahu 0 – 50 $\text{Nl}\cdot\text{min}^{-1}$ [2]

Pořadové číslo měření	Průtok - etalon [$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$]	Průtok – údaj měřidla [$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$]	Relativní chyba [%]
1	0,00	0,45	-0,91
2	10,00	10,66	-1,31
3	20,00	20,90	-1,79
4	30,00	30,98	-1,96
5	40,00	40,87	-1,74
6	48,93	49,74	-1,61

Rozšířená nejistota měření $U = 0,80 \%$ vzhledem k měřicímu rozsahu. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.



Graf 1 - Grafické znázornění odchylek při měření dle Tab. 2

3.3 Výpočet nejistoty měření

Nejistoty měření se vypočítají postupně takto:

- a) nejistota stanovovaná způsobem A,
- b) určí se jednotlivé složky nejistoty stanovované způsobem B,
- c) vypočítá se celková nejistota typu B,
- d) určí se kombinovaná nejistota,
- e) vypočítá se rozšířená kombinovaná nejistota.

Nejistoty je možné vyhodnotit v jednotkách průtoku nebo v relativním vyjádření. Dále je postup s relativním vyjádřením vzhledem k rozsahu kalibrovaného měřidla FS. [8]

- a) standardní nejistota stanovovaná způsobem A – u_A :

se nestanovuje, je nahrazena nejistotou u_{bH} stanovovanou způsobem B z max. rozdílů při měření.

- b) složky standardní nejistoty stanovované způsobem B – u_B :

Mezi složky nejistoty typu B je vždy nutné uvažovat:

- 1) u_{BE1} - nejistota etalonu údajů v kalibračním listu. Protože se provádí korekce chyb dle kalibračních listů, použije se pouze nejistota uvedená v kalibračním listu. Nejistota je v KL uváděna z měřené hodnoty, dostačuje tedy uvažovat hodnotu pro horní mez kalibrovaného rozsahu. Nejistota je uváděna s koeficientem rozšíření $k = 2$. Potom nejistota je:

$$u_{BE1} = \frac{U_{BE1}}{2}$$

- 2) u_{BE2} – vliv podmínek prostředí (teploty) Z_T nad rozsah referenčních podmínek při kalibraci - dle dokumentace výrobce. Etalonový průtokoměr měl při kalibraci referenční teplotní podmínky $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$. Teplotní vliv na nastavení nuly je $0,05 \text{ } \%/^\circ\text{C}$

$$u_{BE2} = \frac{0,05 \cdot (t - 23)}{\sqrt{3}}$$

- 3) u_{BE3} – vliv podmínek prostředí (teploty) Z_T nad rozsah referenčních podmínek při kalibraci - dle dokumentace výrobce. Etalonový průtokoměr

měl při kalibraci referenční teplotní podmínky $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$. Teplotní vliv na rozsah je $0,10 \text{ } \%/^\circ\text{C}$

$$u_{BE3} = \frac{0,10 \cdot (t - 23)}{\sqrt{3}}$$

- 4) u_{BeR} - nejistota vlivem rozlišení etalonového průtokoměru, která se určí jako podíl rozlišení r_e a $\sqrt{3}$ ($u_{BXR} = r_e / 2 \cdot \sqrt{3}$). Kde r je nejmenší digit při čtení:

$$u_{BER} = \frac{r_e}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{1}{FS} \cdot 100\%$$

- 5) u_{BXR} - nejistota vlivem rozlišení kalibrovaného průtokoměru, která se určí jako podíl rozlišení r_x a $\sqrt{3}$ ($u_{BXR} = r_x / 2 \cdot \sqrt{3}$). Kde r je nejmenší digit při čtení.

$$u_{BXR} = \frac{r_x}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{1}{FS} \cdot 100\%$$

- 6) u_{BH} - nejistota z max. rozdílů při měření. Je stanovena jako maximální hodnota při všech zkušebních průtocích.

$$u_{BH} = \frac{\delta \uparrow \downarrow_{\max}}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{1}{FS} \cdot 100\%$$

- c) celková standardní nejistota stanovovaná způsobem B:

Celková standardní nejistota stanovovaná způsobem B u_B se vypočte dle vztahu:

$$u_B^2 = \sum u_{Bi}^2$$

- d) kombinovaná standardní nejistota

Kombinovaná standardní nejistota u_C se vypočte dle vztahu:

$$u_C^2 = u_A^2 + u_B^2$$

- e) rozšířená kombinovaná standardní nejistota

Rozšířená kombinovaná standardní nejistota U s koeficientem rozšíření $k = 2$ se vypočte dle vztahu:

$$U = k \cdot u_c, \text{ kde } k \text{ je koeficient rozšíření (koeficient pokrytí).}$$

Důsledně se musí dodržovat stejné jednotky ve všech částech výpočtu nejistoty! Kalibrované průtokoměry součástí měřidel netěsností mají definovanou dovolenou chybu vztahenou k měřicímu rozsahu.

Český institut pro akreditaci (ČIA) realizoval k jednotnému datu 15. června 2010 terminologickou záměnu BMC (nejlepší měřicí schopnost) na CMC (měřicí schopnost kalibrace). Od uvedeného data uvádí příloha k osvědčení o akreditaci kalibrační laboratoře, kromě dalších informací, měřicí schopnost kalibrace. Realizací této změny zajistil ČIA naplnění oznámení EA Best Measurement Capability Change in Terminology to Calibration and Measurement Capability. [3]

3.3.1 Schopnost kalibrace a měření – CMC

Schopnost kalibrace a měření, dále jen CMC (Calibration and Measurement Capability), je zaveden v souvislosti s Ujednáním o vzájemném uznávání státních etalonů a certifikátů kalibrace a měření, vydaných národními metrologickými instituty - CIPM MRA.

CMC je nejlepší schopnost měření (best measurement capability, BMC), která je běžně, za normálních podmínek k dispozici zákazníkům - uživatelům služby.

CMC musí být:

- dosahováno podle dokumentovaného postupu a stanoveného rozpočtu nejistot, to vše v rámci systému managementu kvality NMI (lépe řečeno signatáře CIPM MRA, kterým může být i přidružená laboratoř),
- realizováno pravidelně a standardně,
- musí být k dispozici všem zákazníkům – uživatelům služby,
- publikováno v databázi klíčových porovnání BIPM KCDB v rámci CIPM MRA nebo popsány v příloze osvědčení o akreditaci vydané signatářem Ujednání ILAC (MLA). [13]

Stanovení nejistoty zahrnuje příspěvky odpovídající nejlepším měřidlům, která jsou k dispozici a jsou kalibrována v NMI. Normálními podmínkami se rozumí běžná služba. Vyjmuty jsou situace, kdy se pracuje s nadstandardními, špičkovými měřidly nebo kdy má měření charakter vědeckého experimentu.

ČMI uchovává údaje o svých CMC v databázi, která zahrnuje také záznamy odpovídajících postupů a navíc i údaje použitých etalonů a doklady o jejich metrologických vlastnostech. CMC se vyjadřují v podobě rozšířené nejistoty s použitím koeficientu rozšíření $k = 2$ (pravděpodobnost pokrytí 95%).

3.3.2 Nejlepší schopnost měření – BMC

BMC (Best Measurement Capability) je nejmenší nejistota měření, které může laboratoř dosahovat při provádění rutinních kalibrací téměř ideálních etalonů s cílem definovat, realizovat, uchovat či reprodukovat jednu či více jednotek dané veličiny, nebo které může dosahovat při rutinně prováděných kalibracích téměř ideálních měřicích zařízení určených pro měření dané veličiny. [3]

BMC se vyjadřují v podobě rozšířené nejistoty s použitím koeficientu rozšíření $k = 2$ (pravděpodobnost pokrytí 95%). Laboratoř nesmí v rámci akreditace uvádět na svých kalibračních listech nejistotu menší (tj. lepší), než je BMC.

BMC se:

- používá pro určení rozsahu akreditace laboratoře a pro popis jejich technických schopností,
- vztahuje vždy k hodnotě nebo rozsahu měřené veličiny a k parametrům, které výsledek měření ovlivňují.

Stanovení CMC		etalonový průtokoměr						
etalon uE	0,65 % MH	dle KL						
odečitatelnost X - uOx		0,01 l/min						
odečitatelnost E - uOE		0,01 l/min						
uA		0,003 l/min						
teplotní vliv uTK		0,15 %/°C		pro	1 °C			
Q	uE	uOx	uOE	uTK	uA	u-komb	U, k=2	U, k=2
l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	% MH
5,0	0,016	0,003	0,003	0,004	0,003	0,018	0,04	0,70
10,0	0,033	0,003	0,003	0,009	0,003	0,034	0,07	0,68
20,0	0,065	0,003	0,003	0,017	0,003	0,067	0,13	0,67
30,0	0,098	0,003	0,003	0,026	0,003	0,101	0,20	0,67
40,0	0,130	0,003	0,003	0,035	0,003	0,135	0,27	0,67
50,0	0,163	0,003	0,003	0,043	0,003	0,168	0,34	0,67

hodnota CMC je zvýšena vlivem neznalosti dlouhodobé stability etalonového průtokoměru na

CMC = 0,80 % MH

Obr. 18 - Příklad výpočtu nejistot měření - stanovení CMC [2]

Prakticky se u kalibrovaných měřidel uvažují dovolené chyby a tedy i nejistoty vzhledem k měřicímu rozsahu.

Vzhledem k rozsáhlosti výpočtů nejistot se pro jejich určování používají předdefinované programy. Tyto programy výrazně spoří čas výpočtu nejistot. Příklad výpočtu pro průtok $0 - 50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ je znázorněn na obr. 19.

Naměřené hodnoty MĚNIT POUZE ŠEDÁ POLE

Rozsah 0 50 l/min
dělění 0,01 l/min

ETALON
rozsah 0 50 l/min
nejist. 0,65 % MH 23,0 °C
dělění 0,01 l/min TK-nula 0,05 %/°C
TK-rozs 0,10 %/°C

%	E ↑ l/min	X ↑-nastav l/min	E ↓ l/min	X ↓-nastav l/min	X ↑-nastav l/min	X ↓-nastav l/min	X ↑-nastav l/min	X ↓-nastav l/min	prům X ↑ ↓ l/min	prům E ↑ ↓ l/min	δ ↑ ↓ l/min
0	0,00	0,68	0,00	0,68					0,000	0,453	0,000
20	10,00	10,76	10,00	10,76					10,000	10,507	0,000
40	20,00	20,98	20,00	20,98					20,000	20,653	0,000
60	30,00	30,85	30,00	30,85	30,85	30,85	30,85	30,85	30,000	30,729	0,000
80	40,00	40,93	40,00	40,93					40,000	40,620	0,000
100	48,93	49,70	48,93	49,70					48,930	49,443	0,000

max δ ↑ ↓ 0,000 l/min
0 % MRx

Korigované hodnoty

%	E nast. l/min	Měř.korig- pr l/min	rel.ch- MR %
0	0,000	0,454	-0,908
20	10,000	10,655	-1,310
40	20,000	20,896	-1,791
60	30,000	30,980	-1,960
80	40,000	40,872	-1,744
100	48,930	49,736	-1,613

ETALON - data z kalibračního listu, chyba z MH

Q	ch	k
0,0000	0,00	0,2192
5,0640	1,11	0,0558
12,5870	1,53	-0,0442
25,2550	0,97	-0,0276
37,5750	0,63	-0,0031
50,3020	0,59	

pomocný výpočet - korekce etalonového průtoku

	0,454	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000	10,655	0,000	0,000	0,000
	0,000	0,000	20,896	0,000	0,000
	0,000	0,000	0,000	30,980	0,000
	0,000	0,000	0,000	0,000	40,872
	0,000	0,000	0,000	0,000	49,736

teplota prostředí poč. 21,0 konc. 21,0 °C

Nejistoty

	etalon	0,65 %	norm.	rozš.	0,3250 %
odeč. E	0,02 %		rovn	0,0058 %	
odeč. X	0,02 %		rovn	0,0058 %	
tepl.vliv1	0,100 %		rovn	0,0577 %	
tepl.vliv2	0,200 %		rovn	0,1155 %	
Hystereze	0,000 %		rovn	0,0000 %	
komb.nej.				0,3498 %	

koef. rozšíření k= 2

Rozšířená nejistota 0,70 %

CMC 0,80

Koneč. rozšíř. nejistota-srovnání s CMC 0,80

Obr. 19 - Příklad výpočtu nejistot měření pro rozsah $0 - 50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ [2]

4 Akreditace laboratoře

Akreditace kalibrační laboratoře se provádí na základě podnětu konkrétní laboratoře, a to na základě vlastní vůle majitele. Ve většině případů jde o nutnost akreditace v závislosti na požadavcích konečných zákazníků, kteří potřebují provádět akreditované měření nebo kalibrace.

Akreditací se rozumí oficiální uznání (reprezentované vydáním Osvědčení o akreditaci), že subjekt akreditace (laboratoř, certifikační orgán, inspekční orgán, environmentální ověřovatel nebo organizátor programů zkoušení způsobilosti) je způsobilý provádět specifické činnosti (laboratoře zkoušky nebo kalibrace, certifikační orgány certifikaci výrobků, systémů jakosti nebo EMS organizací a pracovníků a inspekční orgány inspekce atd.). [4]

Akreditační systém, který v rámci České republiky spravuje Český institut pro akreditaci, o.p.s. (dále jen ČIA) jako národní akreditační orgán, nabízí kromě jiných oblastí, akreditaci kalibračních laboratoří (seznam akreditovaných kalibračních laboratoří).

Akreditace je prováděna na základě mezinárodně uznávaných kritérií a pravidel obsažených v mezinárodních normách, normativních a dalších dokumentech týkajících se akreditace, na základě příslušných metodických pokynů pro akreditaci (MPA) a dokumentů mezinárodních organizací zabývajících se akreditací, které ČIA s ohledem na obecnou povahu mezinárodních norem a normativních dokumentů týkajících se akreditace schválil k zavedení do akreditačního systému spravovaného ČIA. MPA slouží k interpretaci a upřesnění kritérií obsažených v mezinárodních normách, normativních a dalších dokumentech týkajících se akreditace.

Požadovanou (kritériální) normou pro oblast kalibračních laboratoří je norma ČSN EN ISO/IEC 17025:2005.

4.1 Národní metrologický systém

Národní metrologický systém (NMS) je tvořen soustavou právních a technických předpisů, vymezujících postavení orgánů státní správy a dalších subjektů a subjekty vyrábějícími, opravujícími a montujícími měřidla a uživateli měřidel. Systém je vytvořen nad komplexem technických prostředků a zařízení. [3]

Základními oblastmi působení tohoto systému jsou:

- **vědecká metrologie**, která se zabývá soustavou měřicích jednotek a státními etalony a výzkumem v metrologii
- **legální metrologie**, která zabezpečuje jednotnost, správnost měření v regulované sféře podle platné právní úpravy
- **průmyslová metrologie**, zaměřená na obsluhu měřidel v průmyslu, zajišťující předpoklady pro dosažení vysoké jakosti výrobků a služeb v širokém oboru měření a zkoušení. [6]

V oblasti řízení, legislativy a koncepcí působí:

- Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO) – ústřední orgán státní správy,
- Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) – organizační složka státu řízená MPO.

V oblasti výkonné metrologie působí:

- Český metrologický institut (ČMI),
- organizace pověřená podle zákona o metrologii uchováváním některých státních etalonů,
- autorizovaná metrologická střediska (AMS),
- kalibrační laboratoře (zpravidla akreditované a vesměs soukromé),
- Český institut pro akreditaci (ČIA),
- registrovaní výrobci, servisy a montážní organizace,
- subjekty autorizované pro úřední měření.

4.2.1 Rozdělení měřidel podle zákona o metrologie

Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se pro účely tohoto zákona dělí na:

- **etalony** – jsou to měřidla sloužící k realizaci a uchování jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti,
- **pracovní měřidla stanovená** – jsou měřidla, která Ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam,
- **pracovní měřidla nestanovená** – nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem,
- **certifikované referenční materiály** a ostatní referenční materiály – jsou to materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností používané zejména pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřicích metod a kvantitativní určování vlastností materiálů. [10]

Přehled vybraných státních etalonů ČR a etalonů ČMI:

Průtok						
označení etalonu			název	rozsah		garant
ECM	140-1	00-008	státní etalon průtoku plynu v rozsahu 4 m ³ /h až 400 m ³ /h (EZXUM)	4 až 400	m ³ /h	Ing. Tomáš Valenta
ECM	140-2	00-009	státní etalon průtoku plynu v rozsahu 0,15 m ³ /h až 17 m ³ /h (EZEM)	0,15 až 17	m ³ /h	Ing. Tomáš Valenta
ECM	140-3	10-048	státní etalon hmotnostního průtoku plynu GFS	1 až 20 000	sccm	Ing. Zdeněk Krajíček
ECR	140-8		etalon průtoku a proteklého množství vody	0,05 až 150	m ³ /h	Mgr. Jan Geršl, Ph.D.
ECM	140-9	07-035	státní skupinový etalon průtoku a proteklého množství technických kapalin	0,4 až 400	m ³ /h	Mgr. Jindřich Bílek

Obr. 20 - Etalony pro průtok [3]

Číselné označení etalonu obsahuje kód, který charakterizuje postavení etalonu:

ECM – schválený a vyhlášený etalon ČR,

ECR – etalon ČMI, referenční pro ČR,

EPR – referenční etalon, uchovávaný pověřenou laboratoří,

ETR – etalon ČMI.

4.2.2 Vybrané orgány ČR činné v oblasti metrologie

V této části jsou uvedeny pouze orgány přímo související s problematikou této diplomové práce. Tyto orgány jsou:

Český metrologický institut (ČMI) – je institut, který provádí metrologický průzkum a uchování státních etalonů včetně přenosu hodnot měřicích jednotek na sekundární etalony. Mezi další úkoly ČMI patří také řízení referenčních materiálů a jejich certifikace, státní metrologická kontrola měřidel, registrace subjektů na opravu stanovených měřidel, metrologický dozor, certifikace výrobků a systémů řízení jakosti, odborné vzdělávání a certifikace personálu v metrologii.

Český institut pro akreditaci (ČIA) – je institut, který buduje a zajišťuje akreditační systém v ČR, provádí akreditace zkušebních a kalibračních laboratoří, uděluje, odnímá nebo mění osvědčení o akreditaci, posuzuje žadatele o akreditace a také zpracovává, vydává předpisy, metodické pokyny a metodické příručky v rámci své působnosti.

4.3 Rozsah působnosti ČIA

Český institut pro akreditaci, obecně prospěšná společnost, jako národní akreditační orgán založený vládou České republiky poskytuje své služby v souladu s platnými právními předpisy ve všech oblastech akreditace jak státním, tak privátním subjektům. Princip jednotného evropského akreditačního systému tvořeného národními akreditačními orgány, které fungují podle jednotných pravidel a akreditují podle definovaných mezinárodně uznávaných norem, vychází z postoje ES specifikované v Globální koncepci o přístupu ke zkoušení a certifikaci. [4]

Akreditace je vnitrostátním akreditačním orgánem prováděné osvědčování skutečností, že subjekt splňuje požadavky pro provádění konkrétních činností posuzování shody, které stanoví harmonizované normy, a pokud je to relevantní, také veškeré další požadavky včetně těch, které jsou stanoveny v příslušných odvětvových předpisech. Zvláštní hodnota akreditace spočívá v tom, že poskytuje oficiální prohlášení o odborné způsobilosti orgánů, jejichž úkolem je zajišťovat shodu s příslušnými požadavky.

ČIA v souladu s rozhodnutím MPO č. 190/2010 z 24. 10. 2010 o pověření ČIA k provádění akreditace a rozhodnutím ministra průmyslu a obchodu č. 319/2009 ze 17. 12. 2009 provádí posuzování následujících subjektů:

- zkušební a kalibrační laboratoře dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005,
- klinické laboratoře podle normy ČSN EN ISO 15189:2007,
- certifikační orgány provádějí certifikaci:
 - produktů podle ČSN EN 45011:1998,
 - systému managementu kvality podle norem ČSN EN ISO/IEC 17021:2007 a ČSN EN ISO/IEC 17021:2011,
 - osob podle normy ČSN EN ISO/IEC 17024:2003,
- inspekční orgány podle ČSN EN ISO/IEC 17020:2005,
- ověřovatele emisí skleníkových plynů podle normy ČSN EN 45011:1998 s ohledem na zákon č. 695/2004 Sb. v platném znění,
- environmentální ověřovatele systému EMAS podle nařízení EP a Rady (ES) č. 1221/2009,
- poskytovatele zkoušení způsobilosti podle ČSN EN ISO/IEC 17043:2010. [5]

ČIA při své činnosti v souladu s nařízením ES (čl. 4, odst. 8) uplatňuje zásadu nekonkurování vůči subjektům posuzování shody. To znamená, že ČIA nenabízí ani neposkytuje činnosti, které jsou předmětem posuzování shody, ani neprovádí posuzování shody podle certifikačních nebo jiných norem. [5]

ČIA je plnoprávným členem a zastupuje ČR v mezinárodních organizacích zabývajících se akreditací kalibračních laboratoří:

- Evropská spolupráce v oblasti akreditace – EA (European co-operation for Accreditation)
- Mezinárodní spolupráce v oblasti akreditace laboratoří – ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation)

V rámci těchto mezinárodních organizací uzavírají národní akreditační orgány mnohostranné dohody o vzájemném uznávání výsledků činnosti akreditačních orgánů, oblasti kalibračních laboratoří se týkají:

- EA MLA (Multilateral Agreement),
- ILAC MRA (Mutual Recognition Arrangement).

ČIA je signatářem těchto dohod, a to v jejich plném rozsahu.

4.4 Základní požadavky na kalibrační laboratoře

Pro zkušební a kalibrační laboratoře byla vypracována norma „Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří.“ na základě zkušeností s uplatněním předcházejících technických norem a odkazuje se také na normy ISO 9001. V této mezinárodní normě jsou uvedeny veškeré technické požadavky a požadavky na management, které musí zkušební a kalibrační laboratoře splňovat, pokud chtějí prokázat, že mají dobře zaveden management jakosti, jsou způsobilé a schopné dosahovat technicky platných výsledků. Laboratoř se může normou řídit také v případech, kdy chce rozvíjet svůj systém řízení jakosti, dokumentaci a technické systémy, a tím efektivně řídit své činnosti.

ČSN EN ISO 17025 neslouží jako základ pro certifikaci laboratoře, ale využívají ji zákazníci, řídicí orgány a akreditační orgány při ověřování a uznávání způsobilosti laboratoře – akreditaci. Akreditační orgány, které posuzují způsobilost kalibračních a zkušebních laboratoří (Český institut pro akreditaci – ČIA), mají používat tuto normu jako základ pro jejich akreditaci.

Kalibrace prováděné v souladu s požadavky ČSN EN ISO/IEC 17025 jsou prokazatelně realizované ve shodě s ČSN EN ISO 9000. Naopak certifikace systému managementu jakosti dle ČSN EN ISO 9000 sama o sobě v žádném případě není prokázáním odborné způsobilosti subjektu k metrologickým činnostem. Jako informativní přílohy obsahuje norma ČSN EN ISO/IEC 17025 vzájemné odkazy na ČSN EN ISO 9001 a směrnice pro stanovení požadavků na specifické oblasti. [16]

Požadavky na formu a obsah kalibračních listů dle ČSN EN ISO/IEC 17025:

- název „Kalibrační list“,
- název společnosti a adresa,
- na každé stránce jednoznačnou identifikaci (číslo protokolu, číslo stránky a počet stran),
- identifikace použité metody, popř. její odchylky,
- popis, podmínky a jasnou identifikaci měřené položky,
- datum přijetí položky a datum měření,
- odkaz na plán a postup, datum, identifikaci látky, místo a podmínky vzorkování,
- výsledky, jednotky a nejistoty měření,

- při justáži musí být uvedeny výsledky před a po nastavení,
- důkaz o návaznosti měření (např. kdy, kde, č. KL),
- identifikaci osoby potvrzující protokol (jméno a podpis),
- případné vyjádření, že výsledky se vztahují pouze k měřeným položkám,
- případně vyjádření o souladu/nesouladu s požadavky a/nebo specifikacemi,
- případně odborná stanoviska a interpretace,
- doplňkové informace požadované v metodách či zákazníkem (např. nekalibrační interval), kalibrační list ani značka nemá obsahovat doporučený interval kalibrace, není-li přímo vyžadován zákazníkem. [16]

4.5 Možnosti deklarování kvality laboratoří

Prioritou metrologické laboratoře současnosti by mělo být získání „statutu“, který by u metrologické veřejnosti respektive potenciálních zákazníků již při prvním vzájemném kontaktu evokoval pocit maximální důvěry ve vztahu k očekávané kvalitě práce laboratoře, a to jak z pohledu technických a odborných hledisek, tak z pohledu zavedenému systému kvality. V evropském kontextu je to v současnosti pro metrologické laboratoře nevyhnutelná cesta, v opačném případě nemůže laboratoř v dlouhodobém horizontu v současné konkurenci obstát. V podmínkách ČR lze tohoto cíle dosáhnout následujícími formami.

4.5.1 Princip vzájemného uznávání výsledků NMI

Mezinárodní výbor pro váhy a míry (CIPM) vypracoval návrh prohlášení o významu a uplatňování Úmluvy o vzájemném uznávání v průmyslu, obchodu a kontrolní činnosti států (MRA – Mutual Recognition Arrangement). Při přípravě prohlášení zjistil CIPM, že jeho Úmluvu o vzájemném uznávání (MRA) doplňují podobné úmluvy vypracované Mezinárodní organizací pro legální metrologii (OIML) a Mezinárodní spoluprací pro akreditaci laboratoří (ILAC). Všechny tři úmluvy byly tedy propojeny a všechny podporují rovnocennost a akceptování měření s návazností na systém SI v celosvětovém měřítku. Cílem tohoto mezinárodního měřicího systému je poskytnout uživatelům výsledky měření, které mohou být všude přijímány, aniž by bylo potřeba dalších měření. Významným rysem

tohoto systému je, že jeho používání pomáhá odstraňovat technické překážky v obchodním styku a poskytuje bezpečný základ pro vědecká i jiná měření pro celou společnost. [16]

Jednou z technických překážek může být, že vládní orgán, který má na starost dovoz do země nepřijme měření provedená v zemi vývozu.

Mezinárodní úřad pro váhy a míry (BIPM) je mezivládní organizací, která provádí vědeckou práci na nejvyšší úrovni metrologické návaznosti ve vztahu k všeobecně uznávaným etalonům měřicích jednotek. BIPM operuje v rámci Metrické konvence (diplomatická smlouva) a pracuje s národními metrologickými instituty po celém světě. BIPM prosadil uzavření Úmluvy o vzájemném uznávání (CIPM MRA), jejíž signatáři souhlasí s tím, že si budou vzájemně uznávat národní měřicí etalony i certifikáty o provedených kalibracích a měřeních. Veškeré rozdíly mezi etalony jsou v databázi BIPM.

4.5.2 Akreditace kalibrační laboratoře

Akreditovaná laboratoř disponuje externím uznáním své technické kompetence, zabezpečením jakosti a nestrannosti. Akreditovány mohou být jak veřejné, tak i soukromé laboratoře. Akreditace je dobrovolná, ale významná pro kvalitu laboratoře.

Nedílnou součástí posuzování žadatelů o akreditaci je i přímé sledování jejich činnosti v místě jejich působnosti a posuzování kalibrací předváděných za provozu (tzv. „witness audit“). Výběr posuzovaných kalibrací předváděných za provozu musí být dostatečně reprezentativní a jejich nejmenší požadovaný počet vychází z rozsahu požadované akreditace.

ČIA posuzuje způsobilost subjektů, které požádaly o akreditaci, podle požadavků stanovených v akreditačních dokumentech. Subjekt je povinen uhradit akreditačnímu orgánu skutečně vynaložené náklady spojené s akreditací, a to i zálohově. Pokud subjekt neuhradí zálohu v termínu stanoveném akreditačním orgánem, akreditační orgán řízení zastaví. Úhrada nákladů řízení se realizuje na základě rozhodnutí ČIA.

Mezi výhody akreditace laboratoře patří:

- posílení stávajícího systému řízení laboratoře,
- plnění požadavků zákazníků,
- zvyšování spokojenosti zákazníků,
- zlepšení image laboratoře,
- lepší úspěšnost ve výběrových řízeních,
- zvýšení exportních možností,
- snížení reklamací,
- snížení nákladů plynoucích ze zjištěných neshod,
- zvýšená ochrana dat a informací. [16]

4.5.3 Autorizace metrologických subjektů

Autorizaci je možno považovat za systémový nástroj analogický akreditaci v oblasti regulované sféry metrologie. Autorizovanými metrologickými středisky jsou subjekty, které Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) na základě jejich žádosti autorizoval k ověřování stanovených měřidel nebo certifikaci referenčních materiálů po prověření úrovně jejich metrologického a technického vybavení Českým metrologickým institutem a po prověření kvalifikace odpovědných zaměstnanců, která je doložena certifikátem způsobilosti vydaným akreditovanou osobou nebo osvědčením o odborné způsobilosti vydaným úřadem. [16]

Na udělení autorizace není právní nárok. Pokud je subjekt autorizován, dostane úřední značku pro ověřování. Tuto úřední značku, otisk úředního razítka a přesný název autorizovaného metrologického střediska musí subjekt užívat v souladu s podmínkami o autorizaci.

4.5.4 Proces harmonizace

Proces harmonizace metrologické legislativy včetně technických předpisů probíhá už řadu let ve všech výše zmíněných oblastech. Na jedné straně existuje trvalá snaha vytvořit celoevropský systém založený na vzájemném uznávání výsledků kalibračních laboratoří s prokazatelně doloženou kvalitativní úrovní, na druhé straně je snaha vytvořit obdobný

systém i v oblasti regulované sféry metrologie stanovením jednotných technických a metrologických požadavků na měřidla, závazných pro všechny země EU.

4.6 Dvoustranné porovnání s ČMI

Dříve než ČIA rozhodne o udělení akreditace, musí být schopnost kalibrační laboratoře ověřena a schválena nadřazeným orgánem, tj. ČMI Brno, v našem případě oddělení tlaku. Kalibrační laboratoř se musí úspěšně účastnit minimálně jednoho mezilaboratorního porovnání zkoušek (interlaboratory test comparisons) nebo dvoustranného porovnání s laboratořemi ČMI před vydáním osvědčení o akreditaci.

Potvrzení o účasti v dvoustranném mezilaboratorním porovnání zkoušek s laboratořemi ČMI a zpráva o dvoustranném mezilaboratorním porovnání zkoušek s ČMI je uvedena v příloze A. Tato porovnání proběhla úspěšně a kalibrační laboratoř splnila podmínky ČMI pro mezilaboratorní porovnání zkoušek.

4.7 Proces akreditace kalibrační laboratoře

Proces akreditace se obecně skládá z těchto etap:

- a) podání žádosti a její evidence,
- b) přezkoumání žádosti,
- c) příprava na posuzování,
- d) posuzování na místě,
- e) rozhodování o akreditaci.

add a)

Proces akreditace začíná dnem doručení žádosti subjektu o vydání osvědčení o akreditaci. Žádost se podává písemně nebo elektronicky, a to formou datové schránky. Ode dne doručení žádosti musí ČIA nejpozději do 120 dnů o žádosti rozhodnout. Ve zvláště odůvodněných případech může ČIA o žádosti rozhodnout ve lhůtě delší, avšak nejvýše o dalších 5 měsících. Tyto důvody musí být uvedeny v rozhodnutí.

Žádost musí splňovat náležité podmínky a musí být vyplněna na formulářích ČIA, které specifikují všechny podmínky potřebné pro evidenci.

add b)

Všechny žádosti jsou na ČIA prozkoumány z hlediska příslušnosti, přípustnosti žádosti a schopnosti provést posuzování. Pokud žádost neobsahuje předepsané náležitosti nebo není správně vyplněna, vyzve ČIA subjekt k nápravě, která musí být provedena ve stanovené lhůtě. Pokud nejsou odstraněny nedostatky v dané lhůtě, ČIA rozhodne o zastavení řízení.

ČIA současně vydá subjektu rozhodnutí o nákladech řízení za přezkoumání žádosti a případně i rozhodnutí o stanovení zálohy na náklady řízení spojené s akreditací.

ČIA provádí posuzování, která jsou předmětem akreditace plně vlastními silami, bez využití subdodavatelů. Pouze v případě zahraniční akreditace může ČIA využít zahraniční akreditační orgán jako subdodavatele, nebo sám může být subdodavatelem k provedení posuzování pro jiný akreditační orgán.

add c)

ČIA jmenuje skupinu posuzovatelů a její složení včetně názvů organizací ve kterých figurují. Toto složení oznámí s dostatečným předstihem subjektu, aby se tento mohl ke složení vyjádřit (popř. podat námitku na složení skupiny).

V rámci přípravy na posouzení může být vedoucím pozorovatelů provedena předběžná kontrola připravenosti u subjektu. S předběžnou kontrolou musí souhlasit i subjekt.

Před skončením úvodního zasedání skupiny pozorovatelů musí tato skupina, za účelem zhodnocení zdokumentování systému z hlediska shody s příslušnou normou (normami) a ostatními akreditačními požadavky, přezkoumat všechny důležité dokumenty a záznamy poskytnuté subjektem posuzování shody.

add d)

Posuzování na místě, tj. posouzení úrovně poskytovaných služeb subjektem v rozsahu požadované v žádosti, probíhá v souladu s časovým programem posuzování na místě projednaným na úvodním zasedání skupiny pozorovatelů.

Zásady posuzování na místě:

- ČIA vede posuzování tak, aby mohl rozhodnout o žádosti o vydání osvědčení o akreditaci ve lhůtě stanovené zákonem,
- posuzování provádí vedoucí posuzovatelů a jednotlivý experti,

- posuzování probíhá ve všech prostorách subjektu, ve kterých se provádí jedna nebo více klíčových činností.

Na konci i v průběhu posuzování jsou odbornými posuzovateli zpracovány zprávy (protokoly) o průběhu posuzování, případně i odborné posudky expertů. Tyto zprávy obsahují:

- zjištění a nálezy,
- souhrnnou zprávu vedoucího posuzovatele,
- informace o nákladech řízení vynaložených v etapě posuzování na místě.

Po skončení posuzování vedoucí pracovník provede kontrolu subjektem předaných dokumentů pro osvědčení o akreditaci a zpracuje plán pravidelných dozorových návštěv na dobu platnosti osvědčení.

add e)

Posouzení plnění akreditačních požadavků je ukončeno přezkoumáním všech shromážděných podkladů pro rozhodování, souvisejících s plněním akreditačních požadavků subjektem. Na jejich základě se rozhoduje ve věci žádosti o vydání osvědčení o akreditaci. Na rozhodování se podílejí osoby odlišné od těch, které prováděly posuzování.

Podkladem pro rozhodování je spis případu zahrnující i zprávy z posuzování. ČIA vydá, nebo ponechá v platnosti osvědčení o akreditaci, pokud z podkladů pro rozhodování vyplývá, že posuzovaný subjekt splňuje stanovené akreditační požadavky. Subjekt v případech pozastavení, nebo zrušení osvědčení o akreditaci, nebo omezení rozsahu akreditace má možnost se vyjádřit, a to v případě, že s rozhodnutím ČIA nesouhlasí.

Varianty rozhodnutí ve věci akreditace:

- vydání osvědčení o akreditaci,
- rozhodnutí o žádosti o vydání osvědčení o akreditaci,
- rozhodnutí o zamítnutí žádosti o vydání osvědčení o akreditaci,
- rozhodnutí o pozastavení účinnosti osvědčení o akreditaci,
- rozhodnutí o zrušení osvědčení o akreditaci.

Pokud ČIA vyhoví žádosti subjektu, vydá pouze osvědčení o akreditaci. Dnem převzetí osvědčení nabývá toto osvědčení právní moci.

V případě prvotního posouzení je platnost osvědčení o akreditaci 3 roky, u opakovaného posouzení má osvědčení o akreditaci platnost 5 let.

Všechny tyto etapy jsou zastoupeny při prvotním i opakovaném posuzování akreditačních požadavků (ve věci prvotní nebo opakované akreditace a mimořádné dozorové akce). Po celou dobu procesu akreditace až do vydání rozhodnutí může subjekt podat žádost o zúžení předmětu žádosti nebo její zpětvzetí.

5 Závěrečné hodnocení

Diplomová práce popisuje problematiku měření těsnosti průmyslových výrobků (především v automobilovém průmyslu) pomocí průtokového snímače. Společnost JW Froehlich z Německa je jedním z předních výrobců automobilových linek pro testování spalovacích motorů při jejich výrobě a také přístrojů pro testování netěsnosti stlačeným vzduchem, které jsou obvykle součástí linky. Linky od této společnosti jsou v ČR používány v největší míře ve společnosti Škoda Auto a.s., ale také v mnoha dalších společnostech jako je např. firma ITW Pronovia, s.r.o. Velká Bíteš, která se zabývá výrobou klimatizačních jednotek. Tyto linky jsou na velmi sofistikované úrovni, pracují velmi spolehlivě a dokážou pokrýt širokou škálu potřebných měření.

S těmito měřeními se spojují i kalibrace těchto linek (přístrojů). Tyto kalibrace provádí i kalibrační laboratoř TM Technik s.r.o. se sídlem v Brně. Tato laboratoř bohužel zatím není pro tyto účely kalibrací akreditována a veškerá měření v této oblasti provádí bez akreditace. Na základě požadavků trhu se vedení laboratoře rozhodlo pro její akreditování. Touto akreditací laboratoř získá na prestiži a zároveň budou pokryty požadavky jejich zákazníků na akreditované kalibrace. Mezi tyto zákazníky patří i výše zmíněná Škoda Auto a.s. a společnost ITW Pronovia, s.r.o.

V této práci je zpracován postup k dosažení akreditace kalibrační laboratoře TM Technik Brno, s.r.o. v oblasti měření průtoku plynů. Po získání všech potřebných informací o akreditaci, podala laboratoř žádost o akreditaci v oboru průtok k ČIA. Jednou z podmínek pro získání akreditace je účast laboratoře při dvoustranném mezilaboratorním porovnání zkoušek u ČMI. Zkoušky proběhly na základě měření průtoku vzduchu běžným měřidlem a kalibrátorem průtoku. Vyhodnotily se výsledky, zpracoval se výpočet nejistot měření a stanovila se schopnost kalibrace a měření - CMC. Všechna tyto data byla odeslána do ČMI Brno. Na základě měření a výpočtů ČMI a přezkoumání výsledků z laboratoře TM Technik Brno, s.r.o., vydalo ČMI “Zprávu o dvoustranném mezilaboratorním porovnání zkoušek“, ve které je uvedeno, že účastník splnil požadavky zkoušek v daném rozsahu a bylo mu vystaveno potvrzení o této účasti.

Vzhledem k časové vytíženosti laboratoře a nutnosti proškolení zaměstnanců pro tento typ měření, nestihla kalibrační laboratoř přichystat všechny dokumenty a zkoušky pro závěrečnou fázi projednání akreditace z ČIA před odevzdáním této diplomové práce. Jedná se však již jenom o drobné doplnění a dojednání přesného termínu posouzení ČIA. Termín posuzování je předběžně naplánován na srpen 2013.

Pokud vše proběhne dle očekávání, mělo by ČIA vydat osvědčení o akreditaci pro kalibrační laboratoř TM Technik Brno, s.r.o. v oboru průtok. Dnem převzetí osvědčení nabude toto osvědčení právní moci. Od tohoto data bude moci laboratoř provádět akreditované kalibrace i v oboru průtoku plynů.

Seznam použité literatury

- [1] JW Froehlich. Leinfelden. Automatic Dry Air Leak Testing.
- [2] TM Technik s.r.o. Brno. Digitální průtokoměry s médiem vzduch. 2012. 17 s.
- [3] Portál Českého metrologického institutu. ČMI Brno. [online], [cit. 2013-02-14] dostupný na <<http://www.cmi.cz>>.
- [4] Portál Českého institutu pro akreditaci ČIA. [online], [cit. 2013-02-15] dostupný na <<http://www.cia.cz>>.
- [5] Český institut pro akreditaci ČIA. Metodické pokyny pro akreditaci MPA 00-01-12. 2012. 34 stran.
- [6] Petřkovská, L.; Čepová, L. Strojírenská metrologie. Ostrava. VŠB – TUO. 2011. 99 s. Fakulta strojní.
- [7] Portál LABTECH. Brno. [online], [cit. 2013-02-24] dostupný na <<http://www.detekce-netesnosti.cz>>.
- [8] Hajduk, T. Nejistoty měření při kalibraci měřidel tlaku. Kalibrace měřidel tlaku: sborník přednášek. České kalibrační sdružení. ČEZ, a.s., Divize JE Dukovany. 2012. Strana 71 – 87.
- [9] MIKAN, J. Měření plynu. 1. Vyd. Říčany u Prahy: GAS, 2003. 351 s. ISBN 80-7328- 053-1.
- [10] Tichá, Šárka. Strojírenská metrologie – část 2. Základy řízení jakosti. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.
- [11] Beater, P. Pneumatic drivers : systém design, modelling and kontrol. Springer. Berlin, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
- [12] Skopal. M.; Fiala, A. Metrologická návaznost, kalibrace a ověření kalibrace. Metrologie v praxi. [cit. 10. 4. 2013]. Mobilní zkušebna délkoměrů a výrobních strojů. Dostupné na www: <www.mzds.cz/P21_T&C.pdf.pdf>
- [13] Klenovský, P. Informace ze zasedání laboratorního výboru evropské akreditace – problematika BMC/CMC. Konference ČKS 23. 10. 2008, Brno.
- [14] Slováček, A. Měření průtoku plynů: diplomová práce. Brno: VUT Brno, 2012. 72 s.
- [15] TNI 01 0115 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM).

- [16] Staněk, F. Současné předpisy a vývoj v oblasti metrologie. Kalibrace měřidel tlaku: sborník přednášek. České kalibrační sdružení. ČEZ, a.s., Divize JE Dukovany. 2012. Strana 1 – 28.

Seznam příloh

Příloha A Zpráva o dvoustranném mezilaboratorním porovnání zkoušek (ČMI).

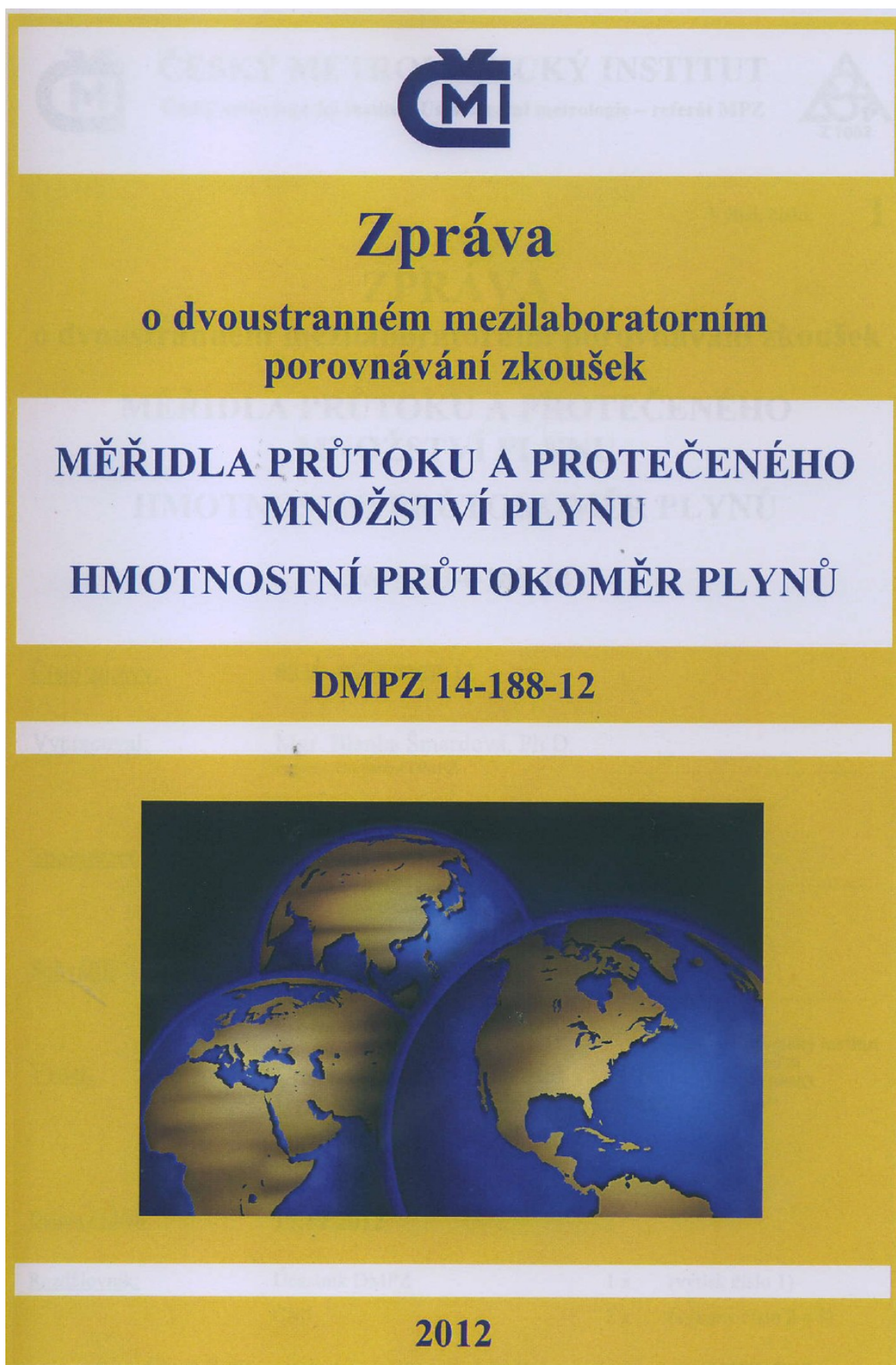
Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Lence Petřkovské, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky k této práci.

Poděkování také patří Martinu Šeplavému ze společnosti TM Technik, s.r.o. za odborné konzultace.



.....
Bc. Petr Padalík





ZPRÁVA

o dvoustranném mezilaboratorním porovnávání zkoušek

MĚŘIDLA PRŮTOKU A PROTEČENÉHO MNOŽSTVÍ PLYNU

HMOTNOSTNÍ PRŮTOKOMĚR PLYNŮ

DMPZ 14-188-12

Číslo zprávy:

0318-ZV-C8188-12

Vypracoval:

Mgr. Blanka Šmardová, Ph.D.
organizační garant DMPZ

Spolupracoval:

Ing. Zdeněk Krajiček
odborný garant DMPZ

Schválil:

Ing. Jindřich Pošvár
odborný ředitel pro legální metrologii

Vydal:

Český metrologický institut
Úsek legální metrologie – referát MPZ
Okružní 31
638 00 Brno

Český metrologický institut
Okružní 31
638 00 BRNO
-20-

Datum vydání:

17.12.2012

Rozdělovník:

Účastník DMPZ

1 x (výtisk číslo 1)

ČMI

2 x (výtisky číslo 2 a 3)

Zpráva o DMPZ číslo 0318-ZV-C8188-12

Organizaci dvoustranného mezilaboratorního porovnávání zkoušek (dále DMPZ) zabezpečil Úsek legální metrologie.

Účastník DMPZ:

název: **TM Technik s.r.o.**

adresa: Dornych 54/47, 617 00 Brno
Pracoviště: Křižíkova 70, 612 00 Brno

Zkoušené měřidlo: hmotnostní průtokoměr plynů (zabudován v přístroji SYCOS K-MFC v.č. 42001296), výrobce ANSYCO, typ FM 3901V, výrobní číslo 961110501, rozsah (0 ÷ 5) l/min.

Kalibrační list účastníka: č. KL – LT0026 / 2012 ze dne 3.12.2012.

Metoda, postup měření účastníka: kalibrační postup KP-033.

Referenční laboratoř: ČMI, Oblastní inspektorát Brno, Oddělení primární metrologie tlaku, vakua a malého hmotnostního průtoku.

Kalibrační list referenční laboratoře: č. 6013-KL-M0464-12 ze dne 6.12.2012.

Metoda, postup měření referenční laboratoře: metoda přímého porovnání podle kalibračního postupu č. 601-MP-C051.

Vyhodnocení výsledků měření je zpracováno v souladu s dokumentem ČSN EN ISO/IEC 17043:

Pro matematické vyhodnocení byl použit vzorec: $E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$, kde:

x_{lab} - hodnota uvedená účastníkem DMPZ,

U_{lab} - nejistota hodnoty x_{lab} ,

x_{ref} - referenční hodnota,

U_{ref} - nejistota referenční hodnoty.

V případě, že $|E_n| \leq 1$, je měření hodnoceno jako **vyhovující** (označeno A), tzn. odchylka hodnoty uvedené účastníkem od referenční hodnoty je menší nebo rovna $\pm \sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}$.

V případě, že $|E_n| > 1$, je měření hodnoceno jako **nevyhovující** (označeno N).

Tabulka výsledků hodnocení naměřených hodnot z kalibračních listů je uvedena v příloze.

<u>Hodnocení:</u> Počet hodnot celkem	6
Počet přijatelných hodnot celkem	6
v %	100

Pokud je procentuální část přijatelných hodnot rovna nebo vyšší než 90 % ze všech výsledků měření, účastník splnil podmínky příslušného porovnání. Pokud je procentuální část přijatelných hodnot nižší než 90 % ze všech výsledků měření, účastník nesplnil podmínky daného porovnání.

Hodnocení obsahové stránky kalibračních listů není obsahem této zprávy.

Závěr: Účastník dvoustranného mezilaboratorního porovnávání zkoušek

splnil

požadavky stanovené pro dvoustranné mezilaboratorní porovnávání zkoušek v daném rozsahu a je mu vydáno Osvědčení o účasti v dvoustranném mezilaboratorním porovnávání zkoušek číslo 0318-OV-C8188-12.